

Treball de Fi de Grau
Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials

**Anàlisi de la logística davant d'un possible
sisme a la costa sud-est d'Espanya**

MEMÒRIA

Autor:
Director/s:
Convocatòria:

Arnau Grau Pedragosa
Manel Mateo Doll
Setembre 2016



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



Treball de Fi de Grau
Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials

**Anàlisi de la logística davant d'un possible
sisme a la costa sud-est d'Espanya**

Autor: Arnau Grau Pedragosa
Director: Manel Mateo Doll
Convocatòria: Setembre 2016



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



Etiquetes dels CD's



Treball de Fi de Grau

**Grau en Enginyeria en
Tecnologies Industrials**

Autor:

Arnau Grau Pedragosa

Director:

Manel Mateo Doll

Convocatòria:

Setembre 2016

Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial
de Barcelona

Anàlisi de la logística davant d'un possible sisme a
la costa sud-est d'Espanya

Resum

El present treball estudia la resposta logística necessària en cas de produir-se un sisme al sud-est d'Espanya i amb afectació a les seves costes.

Començant per un estudi històric de sismes i tsunamis a Espanya i voltants, es procedeix per analitzar els protocols existents en la matèria.

El nucli del treball consisteix en un estudi de les zones més vulnerables a les megaonades, les seves característiques, i la resposta logística més adequada en cada cas.

D'aquesta manera, es poden trobar 4 estudis dels punts amb més afectació potencial de les costes espanyoles, una descripció del cas i el conjunt de mesures logístiques de resposta a efectuar.

A través d'estudis i simulacions existents, es determinen amb precisió els punts i l'extensió de l'emergència potencial real concretada per les 4 zones.

Llavors es determina de manera fonamentada el flux de distribució de les ajudes a les localitats més representatives de cada una de les zones afectades i el transport dels ferits de manera efectiva als centres hospitalaris més adequats.

Finalment, es fa un estudi del cost i de l'impacte mediambiental a l'hora de dur a terme l'operatiu, així com un resum dels recursos requerits per a assegurar el bon desenvolupament del pla.

Els resultats de l'estudi indiquen que l'Estat disposa dels recursos suficients per a dur a terme un operatiu de suport humanitari en un escenari post-tsunami però té una manca de preparació organitzativa i logística que es pot resoldre basant-se en projectes com aquest.

Sumari

RESUM	5
SUMARI	6
1. GLOSSARI	9
2. INTRODUCCIÓ	11
2.1. Objectius del projecte	11
2.2. Motivació.....	14
2.3. Abast del projecte	14
3. PROTOCOLS EXISTENTS	15
3.1 Pla estatal.....	15
3.1.1 Introducció al pla estatal.....	15
3.1.2 Evolució protocol·lària en cas d'emergència	16
3.2 Pla de les Comunitats Autònomes	18
3.3 Protocol en tsunamis	18
3.3.1 Pla estatal	19
3.3.2 Pla autonòmic.....	21
3.3.3 Pla local	22
4. ESTUDI DE LA RESPOSTA	23
4.1 Mètode de resolució logística	23
4.2 Estudi de vulnerabilitat de la costa mediterrània d'Espanya.....	26
5. CAS 1: EPICENTRE A LA COSTA PORTUGUESA AMB AFECTACIÓ A CADIS	29
5.1 Introducció del cas	29
5.2 Descripció del cas	30
5.3 Pla d'actuació logística	32
6. CAS 2: EPICENTRE AL MAR D'ALBORAN AMB AFECTACIÓ A LA COSTA DEL SOL	36
6.1 Introducció del cas	36
6.2 Descripció del cas	36
6.3 Pla d'actuació logística	38
7. CAS 3: EPICENTRE A ALGÈRIA AMB AFECTACIÓ A MÚRCIA I ALACANT	41
7.1 Introducció del cas	41

7.2 Descripció del cas	41
7.3 Pla d'actuació logística	44
8. CAS 4: EPICENTRE A ALGÈRIA AMB AFECTACIÓ A LES BALEARS	48
8.1 Introducció del cas	48
8.2 Descripció del cas	48
8.3 Pla d'actuació logística	49
9. DIMENSIONAMENT DE L'AFECTACIÓ I FLUX DE FERITS	53
9.1 Cas 1: Cadis - Costa de la Llum	55
9.2 Cas 2: Màlaga - Costa del Sol	57
9.3 Cas 3: Múrcia - Costa Cálida	58
9.4 Cas 4: Illes Balears.....	60
10. RESOLUCIÓ DEL PROBLEMA LOGÍSTIC	63
11. IMPACTE AMBIENTAL	66
12. PRESSUPOST	68
13. CONCLUSIONS	72
AGRAÏMENTS	73
BIBLIOGRAFIA	74
Referències bibliogràfiques.....	74
Bibliografia complementària.....	76

1. Glossari

Acrònims:

ADIF: Administrador De Infraestructuras Ferroviarias

BOE: Boletín Oficial del Estado

CECO: Comité Estatal de Coordinación

CR: Creu Roja

ERIE: Equipos de Respuesta Inmediata en Emergencias

ERU: Emergency Response Unit (Unidad de Respuesta en Emergencias)

IGN: Instituto Geográfico Nacional

INSEAD: Institut Européen d'Administration des Affaires (Institut Europeu d'Administració de Negocis)

MCDA: Multi-Criteria Decision Analysis (Anàlisi de Decisions Multi Criteri)

NGDC: National Geophysical Data Center (Centre Nacional de Dades Geofísiques)

NFM: Network Flow Models (Models de Fluxos de Xarxa)

NEAMTWS: North-Eastern Atlantic Mitigation Tsunami Warning System (Sistema d'Alerta de Tsunamis en el Nordest de l'Atlàntic)

SASEMAR: Salvamento Marítimo

SC: Supply Chain (Cadena d'Aprovisionament)

TRANSFER: Tsunami Risk And Strategies For European Region (Risc i Estratègies en Tsunami per a la Regió Europea)

TSP: Travelling Salesman Problem (Problema del Viatjant de Comerç)

UME: Unidad Militar de Emergencias

UNESCO: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (Organització de les Nacions Unides per a l'Educació, la Ciència i la Cultura)

VRP: Vehicle Routing Problem (Problema de Rutes de Vehicles)

2. Introducció

2.1. Objectius del projecte

Els objectius d'aquest projecte són:

1. Dotar al territori d'un estudi ampliat, sobre els existents, de la vulnerabilitat de la costa espanyola als fenòmens dels tsunamis.
2. Analitzar de manera precisa les zones més vulnerables a les megaonades i les característiques de l'amenaça real que presenten.
3. Conèixer de manera precisa la resposta logística a efectuar en cas d'emergència. Així, es desitja conèixer per a cada zona en perill la gestió de la resposta, amb èmfasi en la distribució dels ajuts.

Aquests estan relacionats amb el fet que, lluny del focus mediàtic i fins i tot de les autoritats, el perill sísmic d'Espanya és sovint obviat sense saber que un gran terratrèmol s'esdevé cada 125 anys aproximadament [9]. D'aquesta manera el present projecte estudiarà el pla d'actuació vigent [8] com la resposta a altres catàstrofes per a perfeccionar un protocol operacional de resposta que pugui minimitzar les conseqüències d'un sisme sobre la costa, fent especial èmfasi en la logística en context de crisi.

Al mateix temps, un de cada deu tsunamis que es produeixen al món esdevé al Mar Mediterrani, amb una mitjana d'un gran tsunami cada cent anys [7].

La densitat de població a la costa mediterrània, conjuntament amb falles actives com les d'Algèria i el sud-oest de Portugal, fan que la costa espanyola tingui un risc alt de [3] patir els efectes d'un tsunami. Cal afegir que les curtes distàncies al mar Mediterrani donen uns temps de resposta molt curts en cas de megaonada.

Es vol, per tant, estudiar la resposta operacional i logística a seguir en cas de sisme i l'afectació en la costa mediterrània d'Espanya, prenent punts d'estudi concrets i els corresponents plans d'actuació.

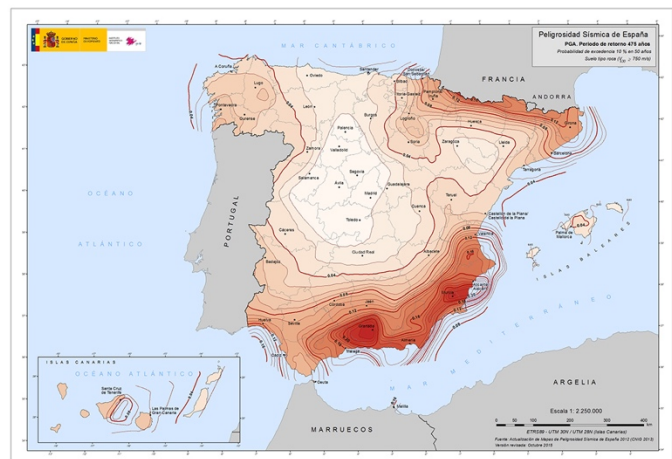


Fig. 2.1. Peril·lositat sísmica d'Espanya. Font: Ministeri de Foment

El maig del 2011 Lorca pateix dos sismes de magnituds 4,4 i 5,1 que deixen 9 morts i una població altament afectada [9]. Tot i això queden lluny dels considerats com a “grans terratrèmols” d'escala 9 a 10 en l'escala Richter i més probables en territoris com Japó, l'Iran o Califòrnia.

No obstant això, i segons l'*Instituto Geográfico Nacional*, des de l'any 300 A.C., es produeixen a Espanya cada 100 o 150 anys un dels grans terratrèmols [9]. L'últim dels quals succeeix a Granada l'any 1884 deixant al voltant de 900 morts.

L'any 1956 ocorre a Albolote un sisme de la mateixa magnitud del de Lorca deixa 11 morts i un nivell elevat de destrosses. Anteriorment, l'any 1775 esdevé a Lisboa un terratrèmol de 8,7 a l'escala de Richter causant un fort tsunami que afecta la costa del Portugal però també l'espanyola en punts com la costa de Cadis. El balanç final és de 90.000 morts en la capital del país.

En la figura 2.1 s'observa el mapa realitzat per l'*Instituto Geográfico Nacional* on s'estableix les zones i nivell d'intensitat d'acceleració sísmica al llarg del territori espanyol.

Mapes com aquest s'utilitzen per a traçar la *Directriz Básica de Planificación de Protección Civil*, tenint en compte els punts més vulnerables. Segons el *Colegio de Geólogos*, existeix “un risc sísmic relativament important en la regió mediterrània” [7].

Espanya es troba en la conjunció de les plaques litosfèriques, la d'Euràsia i l'africana. Aquestes dues s'aproximen any rere any creant zones sensibles a sismes, especialment en el sud-est de la Península Ibèrica. Així Andalusia i Murcia serien les zones més propenses a patir els efectes d'un terratrèmol, però sense oblidar altres punts vulnerables com el Pirineu.

Consegüentment, tenint en compte els precedents i els estudis, és d'esperar que terratrèmols de magnitud considerable es produeixin a Espanya. En paraules del *Colegio de Geólogos* “l'experiència històrica i el context geològic permeten predir amb certesa futurs sismes a Espanya” i afirmen que “no existeix consciència d'això ni en la població ni en les autoritats” [7].

Segons els científics, i en paraules d'Antonio Aretxabala, Espanya pateix “d'amnèsia sísmica” i fins i tot amb episodis com els de Lorca no s'és conscient de l'amenaça real [5].

Per aquest motiu, i com a conseqüència a l'afectació i perill potencial, es requereix un pla d'actuació perfeccionat capaç de donar resposta a tal situació.

Quan es parla de tsunamis a Espanya, es veu per part de la població i les autoritats com quelcom que mai pot succeir aquí. No obstant, el Espanya és considerat d'alt risc en aquest tema i és un polvorí pels següents motius:

- Alta densitat de població a la costa
- Curt temps de reacció al mar Mediterrani
- Baixa o inexistent preparació en cas de catàstrofe

Així, pel que fa a la densitat, cal recalcar que la població espanyola es concentra naturalment a la costa, un factor que va en augment. El 2009, més de 15 milions de persones vivien a les costes espanyoles, i això suposa que el 32,7% habita en zones costeres que sumen el 6,7% del territori nacional [11].

Queda patent, per tant, que aquesta altíssima concentració costanera fa al país vulnerable en cas de tsunami.

També, al ser el mar Mediterrani de dimensions més reduïdes respecte als oceans, suposa que les megaonades han de recórrer distàncies més curtes abans d'arribar a la costa. Per tant, els temps de resposta són molt més reduïts que en àrees com el pacífic, el qual vol dir que en poc més de 20 minuts el tsunami pot tocar la costa mediterrània.

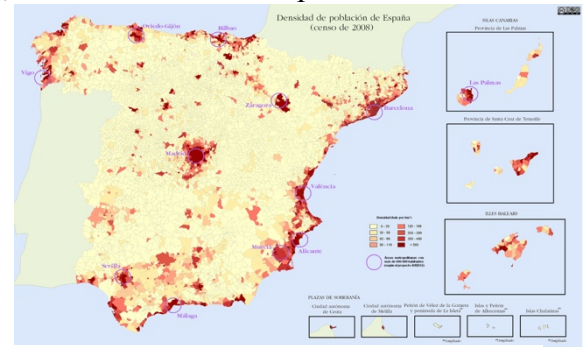


Fig. 2.2. Densitat de població a Espanya (2009). Font: Ministerio del Interior

En tercer lloc, pel que fa als tsunamis, es sorprenent saber que només existeix un protocol d'actuació a Espanya molt esquemàtic, tot i haver estat afectada per grans onades en el passat que han causat milers de víctimes.

Segons un informe de la Universitat de Cantabria presentat a la conferència mundial sobre tsunamis l'any 2011 [5] destacava que si es produís un tsunami igual al del 1775 a les costes de Cadis, avui l'afectació seria equivalent a la del tsunami d'Indonèsia l'any 2004. Això és una estimació de 300.000 morts i milió i mig de persones sense llar.

També s'han produït tsunamis al mar Mediterrani (tot i que d'intensitat menor) als anys 1790, 1804, 1954, 1980 i 2003.

Així, sorprèn que el país compti només recentment (des del novembre del 2015) amb un protocol d'actuació en aquest sentit tot i estar considerat pels experts com zona d'alt risc en ones massives. Aquest protocol és esquemàtic i no entra en el detall suficient a l'hora de gestionar una crisi derivada d'un tsunami. Segons Mauricio González, investigador de la Universitat de Cantabria, el fet de no estar preparats fa al país altament vulnerable davant una situació realista [5].

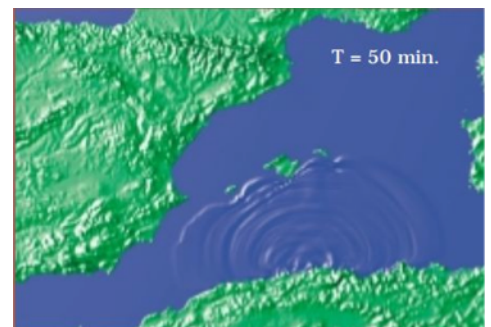


Fig. 2.3. Simulació numèrica del tsunami del 2003. Font: Universidad de Cantabria

Sistemes de prevenció com el japonès, on en cas de ona massiva els ciutadans reben un avis per missatgeria, no existeixen aquí [10]. Exemple de la vulnerabilitat és, per exemple, el fet que el terratrèmol d'Algèria de l'any 2003 va provocar un petit tsunami que al cap de 50 minuts arribava a les Balears absolutament imprevist causant importants destrosses en embarcacions i ports.

El 13 de febrer del 2015 es produeixen varis terratrèmols al centre nord de l'Atlàntic, arribant fins al valor de 7.1 de magnitud i produint un petit tsunami captat per Centre d'Avisos de Tsunamis del Carib. A España, l'*Instituto Geográfico Nacional* no registra l'onada per un conjunt de problemes informàtics [10]. Queda patent, doncs, que la resposta en cas d'emergència està lluny de ser efectiva. Fins i tot si al mes de novembre següent s'organitzen unes jornades de coordinació entre el Marroc, Portugal i España, sorprenentment segueix sense existir a dia d'avui un protocol adequat per a donar resposta a un problema que tard o d'hora acabarà succeint. A finals del 2015 es posa en marxa el sistema de detecció, però la coordinació institucional i la formació al ciutadà es pràcticament nul·la a dia d'avui [10].

Segons els experts, el fet que un tsunami important arribi a les nostres costes és qüestió de temps i, per ara, es trobaria a una nació poc preparada i sense una bona capacitat de resposta.

La costa espanyola es troba envoltada de punts susceptibles de patir terratrèmols i per tant es crea una zona de potencial afectació molt gran d'ones massives. En particular, la costa de Cadis i Huelva està exposada a ones de fins a 15 metres (amb precedents) i la seva alta densitat de població la fa altament vulnerable.

L'evacuació completa seria impossible donat l'estret marge de temps un cop es té l'alerta, però es podrien implementar protocols d'evacuació vertical. Així, la població podria trobar refugi en parts altes d'edificis i zones protegides de la inundació (prèviament estipulades) per tal de reduir l'afectació de l'onada.

2.2. Motivació

Pel que fa a la motivació personal per a realitzar aquest projecte, cal mencionar el meu interès personal per a la logística i l'aplicació de models i estudis a l'hora de millorar l'eficiència en la distribució.

En particular, l'ús humanitari dels coneixements en *supply chain* i distribució es presenta com a clau per a la bona resposta en una situació d'emergència.

Al voler-me dedicar professionalment en aquest àmbit, he cregut convenient tractar en el present treball un tema d'interès personal real i que d'altra banda podria ser de gran utilitat en el cas de produir-se una situació com l'estudiada.

2.3. Abast del projecte

Per entendre l'abast del projecte s'ha de partir de la base que a Espanya hi ha múltiples organitzacions científiques i de protecció civil que treballen per a donar resposta a tot tipus d'emergència. Així, el present treball no pretén treballar fora d'aquesta línia sinó ampliar els buits en recerca i aplicar models matemàtics precisos que tot just es comencen a utilitzar per a la resposta d'emergències.

En matèria de tsunamis és de destacar que l'Estat espanyol i les seves institucions van molt endarrerides. Tot i les limitacions de temps i recursos que presenta un Treball de Fi de Grau, encara es pot ampliar abundantment la preparació i recerca en aquest àmbit.

3. Protocols existents

Començant per a estudiar els mecanismes presents a nivell estatal en cas d'emergència, hi ha un seguit de protocols a tenir en compte en el present projecte.

En aquest capítol es vol doncs analitzar com està previst ara per ara la resposta per part de l'Estat espanyol a catàstrofes, calamitats o situacions de risc greu per a la població.

Pel que fa al marc jurídic, dues lleis principals regulen aquest àmbit. La primera es la *Ley 2/1985 sobre Protección Civil* [12]. En l'apartat III es tracten els plans territorials, per respondre a emergències generals en un territori, i els plans específics que responen a una amenaça concreta i requereixen un mètode d'actuació específic.

L'altre pilar jurídic, extensió de l'anterior, és aprovat amb el Real Decret 407/1992, del 24 d'abril, anomenat la *Norma Básica de Protección Civil* [13]. Aquesta estableix la necessitat d'elaborar plans específics a diferents amenaces, sense incloure els tsunamis, però amb la possibilitat de ser afegits en un futur Real Decret, com altres amenaces ara considerades.

3.1 Pla estatal

3.1.1 Introducció al pla estatal

En aquest sentit, no existien protocols genèrics clarament establerts fins a l'any 2005, quan catàstrofes com les del Prestige (2002) o les nevades de Burgos (2004) van fer patent la necessitat de crear esquemes d'actuació.

L'any 2005 es creen òrgans d'emergències àgils i amb capacitat de donar suport a les comunitats autònomes en cas que aquestes patissin situacions que sobrepassessin les seves capacitats de reacció.

Així doncs el 7 d'octubre del 2005 el *Consejo de Ministros* pacta la creació de la *Unidad Militar de Emergencias* (UME) [14].

Aquesta unitat, inclosa en les *Fuerzas Armadas*, té com a objectiu crear una estructura operativa preparada i formada per a actuar amb les Administracions en cas de catàstrofe.

Fou un salt qualitatiu en el sentit que fins llavors les Forces Armades només intervenien en cas que ho sol·licitessin les Administracions concernides. Avui actuen per defecte al costat de les Administracions i l'Estat espanyol en la gestió de situacions d'emergència [14].



Fig. 3.1. La UME en tasques de rescat.

Font: UME

En cas d'emergència, les comunitats autònomes poden sol·licitar la intervenció de la

UME. En tal cas, el director del Pla d'Emergència Autonòmic sol·licita al Ministeri d'Interior la intervenció de la unitat. I tant l'inici com el final de l'actuació de la UME es posa en coneixement del *Centro Nacional de Gestión de Crisis* de la presidència del govern.

Altres països com Rússia, França o els Estats Units utilitzen des de fa temps les Forces Armades en cas d'emergència per l'avantatge de tenir personal i equips especialment preparats per a situacions de crisi. Així doncs la UME compta amb personal instruït, organitzat i amb el material i infraestructura de resposta necessari.

De tota manera, segons l'expert Fernando Talavera Esteso [1] el canvi constitucional del 1978 va suposar a grans trets que el sistema de resposta centralitzat es repartís en el conjunt de Comunitats Autònomes i Ajuntaments. Aquest esquema de descentralització ha comportat que encara avui la resposta a emergències presenti com a debilitat principal la descoordinació entre agents de protecció civil.

El pla d'actuació esta dividit en 3 frases interrelacionades:

- La fase prèvia: previsió i anticipació del desastre amb mesures de prevenció
- La fase d'emergència: intervenció per rescat i socors
- La fase posterior: rehabilitació i reconstrucció

El *Sistema de Protección Civil* comparteix tanmateix la intervenció (segona fase) amb organitzacions no governamentals, per exemple, la Creu Roja. Així actuen de manera complementària a l'hora de restaurar les condicions bàsiques pre-crisi.

La tercera fase també es duu a terme habitualment fora de l'àmbit de Protecció Civil amb mesures públiques de llarg termini.

D'aquesta manera, al parlar de Protecció Civil es fa referència bàsicament a l'actuació de resposta a una catàstrofe a curt termini i amb caràcter d'emergència.

Així el *Sistema de Protección Civil* respon a les emergències fins al nivell màxim, el 3 i d'interès nacional. Més enllà, quan es considera que les circumstàncies són extraordinàries i no es pot mantenir el control a través de les autoritats competents, es declara l'Estat d'Alarma, la gestió i control passa a mans del Sistema de Seguridad Nacional.

No obstant això, en cas de sisme o tsunami, al no veure's afectada la integritat de la seguretat nacional, i al ser una emergència focalitzada, en principi el control de les operacions seguiria a mans de Protecció Civil. Els òrgans que componen Protecció Civil són les Comissions de Coordinació Nacional i les comunitats autònomes. Han de garantir el bon desenvolupament dels protocols establerts.

Tots els plans establerts tenen una base comuna d'inici d'actuació. Llavors, en funció de l'evolució del cas, es pot produir un ascens en l'escala d'activació de la resposta a l'emergència.

3.1.2 Evolució protocol·lària en cas d'emergència

Es comença doncs amb la pre-emergència o alerta fins a el nivell màxim 3, segons s'estableix a la *Norma Básica de Protección Civil* creada en el Real Decreto 407/1992 (Ley 17/2015).

Així doncs, la pre-emergència no es declara formalment però ja posa en marxa als mitjans del Sistema de resposta en cas de previsions desfavorables en una catàstrofe.

Llavors l'alerta progressa, en cas lleu, des del nivell 1 local, on s'alerten els medis regionals. A continuació, en una situació menys lleu, es passa a un nivell 2 local on s'impliquen medis locals i regionals i es passa al nivell 1 regional. Finalment, un cas de nivell 3 local implica un nivell 2 regional que encadena una resposta nacional, implantant així el nivell 1 a l'Estat espanyol. I successivament seguint aquest esquema en cas que les 3 administracions disposin dels medis de resposta i dels plans adequats.

Cada pla estableix el moment a declarar cada nou nivell per a cada administració, fent-se així efectiva a través de l'alcalde, el responsable de protecció civil regional o el Ministeri de l'Interior. La cadència d'aquesta escala de declaració d'emergència és clau per a una resposta eficaç i adequada.

En cas d'una emergència de nivell 3 nacional, la *Unidad Militar de Emergencias* pren el control operacional i el Ministeri de l'Interior l'estratègic.

Es realitzen simulacres puntuals, on com en cas de catàstrofe real, la UME coordina els efectius d'emergències implicats en la gestió d'un desastre. Aquest protocol és acordat el 2006. En cas de desastre, la UME té entre 2 i 4 hores posteriors al sisme per valorar la magnitud del l'afectació i d'11 a 24 hores per a desplegar els efectius sobre el terreny.

Així es tracta doncs de proporcionar rescat, refugi i socors a les persones afectades per la catàstrofe. Tanmateix cal atendre a les víctimes i als seus familiars, amb una ràpida identificació dels cadàvers en cas necessari i l'ulterior suport psicosocial als familiars. En aquest àmbit és crucial el suport d'organitzacions no governamentals com la Creu Roja, que ajuden a dur a terme els protocols i donen suport a les autoritats.

També cal intentar preservar els béns i serveis afectats, i la seguretat ciutadana s'ha de garantir per part de les forces de seguretat, així com per restablir els serveis bàsics com l'aigua potable, la llum, la sanitat o les comunicacions.

Els serveis especialitzats de les autoritats, en coordinació amb les ONG, han de valorar els medis requerits en cada cas per a restablir la normalitat, i coordinar-se a amb el *Sistema de Protección Civil*.

Quan els serveis públics bàsics són restituïts i no es plantegen més necessitats en el quadre d'emergències estipulats, es declara la tornada a la normalitat i la desactivació del pla concret.

Segueix, llavors, la rehabilitació i la reconstrucció de la zona afectada. Tot i que no estan incloses en la llei de Protecció Civil ni en la Norma Bàsica, l'Estat espanyol s'encarrega normalment també de la rehabilitació de la zona afectada després del caràcter d'emergència. A través d'ajuts econòmics, i amb les indemnitzacions de les asseguradores, s'intenta tornar el territori a la normalitat. Cal fer notar que l'únic cas d'excepció en cas d'emergència que no segueix l'esquema anterior és el nuclear, on es segueix un pla dividit en 7 nivells i regulat per l'Escala Internacional de Successos Nuclears i Radiològics [15].

3.2 Pla de les Comunitats Autònomes

Les Comunitats Autònomes juguen actualment un paper actiu en la protecció civil i un paper crucial en l'aportació de recursos però també en la coordinació tant amb altres Comunitats, com en les esferes locals i estatals en cas d'emergència.

És necessari, doncs, saber com actuen en cas d'emergència i com es coordinen amb els altres agents implicats. Les 17 comunitats autònomes i les ciutats autònomes de Ceuta i Melilla disposen d'un Pla Territorial de Protecció Civil. Aquest engloba altres plans de caràcter local o especial (entre els quals el sísmic) inclosos en la *Norma Básica de Protección Civil* [13]. Cada comunitat ha elaborat plans d'actuació especial en funció de si es considera potencialment afectada per aquell risc.

Un únic telèfon d'emergències, el 112, suposa una resposta homogènia a nivell estatal. Al mateix temps, tot pla en cada comunitat està inclòs en el *Plan Especial* i segueix les directrius de la *Norma Básica*. L'esquema general és el mateix, i les diferències vénen en funció de si la comunitat en particular té competències diferenciades, com una policia autonòmica o un servei de bombers autonòmic. Influència també el nivell de preparació de resposta local i el posicionament d'altres organitzacions en el territori concret. Òbviament no tenen la mateixa capacitat de resposta Madrid i Barcelona que Gósol o Arcos de la Frontera.

En cas de gran catàstrofe s'activaria algun dels plans de Protecció Civil, o el territorial o l'específic. Així la *Dirección General de Protección Civil y Emergencias* actuaria com a coordinador de tots els mitjans que les organitzacions implicades en la protecció civil puguin aportar.

3.3 Protocol en tsunamis

Existeix un *PLAN ESTATAL DE PROTECCIÓN CIVIL ANTE EL RIESGO SÍSMICO* de Març del 2010 [8]. I més concretament, el novembre del 2015 s'aprova amb el *Real Decreto 1053/2015* per primer cop la *DIRECTRIZ BÁSICA DE PLANIFICACIÓN DE PROTECCIÓN CIVIL ANTE EL RIESGO DE MAREMOTOS* [2]. Aquesta té com a objectiu establir els requisits que han de complir els Plans Específics de Protecció Civil, amb tot el que és relatiu a la organització i l'operativitat, per a ser aprovats per la *Comisión Nacional de Protección Civil* en l'àmbit regional. D'aquesta manera presentarien tots un esquema similar que pugui facilitar la coordinació i l'actuació conjunta en cas de catàstrofe de les diferents administracions i agents involucrats. La directriu està dissenyada a dos nivells, l'estatal i l'autonòmic, incloent el segon les actuacions també a nivell local. La *Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Maremotos en España* es basa en quatre eixos principals:

- Avaluació del risc de tsunami
- Establiment del Sistema Nacional d'Alertes per Tsunami
- Organització de l'operativitat dels plans de protecció civil per a una aplicació eficaç dels mitjans de protecció a la població civil
- Previsió de mesures d'educació, informació i preparació.

És d'especial utilitat en el present projecte el tercer punt. En aquest s'estipulen tres fases de resposta a un tsunami pel que fa a l'operativitat.

La primera es la **fase d'alerta**, on s'inicia amb la detecció per part de la Red Sísmica Nacional d'un fenomen, normalment sisme, capaç de generar una megaonada. Així, s'han de posar en coneixement les autoritats i la població de la zona potencialment afectada. La velocitat d'aquesta fase és crucial per a maximitzar les mesures de protecció i minimitzar els danys sobre la població. Existeixen dues subfases:

- Subfase d'avís a les autoritats responsables de la protecció civil. S'estima la trajectòria i temps de reacció del fenomen detectat, i es posen en marxa els dispositius d'evacuació de la població.
- Subfase d'alerta a la població. Es posa en marxa al confirmar-se la creació d'un tsunami potencialment destructiu i s'ha de procedir a l'evacuació de les zones amenaçades.

La segona fase és la **fase d'emergència**, que s'inicia quan arriben a la costa les primeres mostres de tsunami, amb l'enretirada del nivell de l'aigua i dura fins que no remetin les onades que posen en perill la població i els bens de la zona. Aquesta fase es subdivideix en tres situacions segons la gravetat del cas:

- Situació 1: Es pot salvaguardar la població i els béns de la zona amb els mitjans dels quals es disposa.
- Situació 2: Les necessitats d'atenció dels medis locals per part de la població i els béns superen la capacitat de resposta. És necessària la intervenció de mitjans extraordinaris per a proporcionar socors i protecció adequadament. El *Plan Estatal* mobilitzarà els suports estatals o fora de la comunitat necessaris.
- Situació 3: La situació és de la gravetat suficient per a declarar una emergència d'Interès Nacional, i la implicació de recursos, mitjans i serveis estatals i extracomunitaris per a socórrer i protegir a la població i béns materials de la zona afectada.

La tercera fase, la **fase de normalització**, posterior a la d'emergència, consisteix en retornar les condicions bàsiques de normalitat a la zona. Es duen a terme els primers passos en la rehabilitació, s'estudien les estructures dels edificis i de les infraestructures, i es retorna el servei d'aigua, llum i telecomunicacions a la zona afectada. La neteja i desbrossament de la zona també hi són compresos.

3.3.1 Pla estatal

El *Plan Estatal de Protección Civil ante el Riesgo de Maremotos* estableix els procediments a seguir per a què les Administracions responguin eficaçment a un tsunami en qualsevol punt de la costa espanyola i per donar suports a les Comunitats Autònomes.

Entre les funcions bàsiques s'inclou planificar l'estructura organitzativa per dirigir i coordinar les Administracions Públiques en situacions d'emergència per tsunami. Així s'inclou establir els procediments per coordinar les aportacions de fora la comunitat en cas

que el pla autonòmic es manifesti insuficient. També cal preveure la sol·licitud, recepció i distribució d'ajuda internacional. És crucial també mantenir una base de dades dels mitjans disponibles en cas de necessitat. I finalment, s'ha de crear una xarxa de comunicació entre l'Estat espanyol i les comunitats per a compartir informació en cas d'alerta i per a facilitar la cohesió informativa entre els agents de protecció civil a nivell regional, els serveis públics estatals i la població en general. El Pla incorporarà la cartografia de perillositat en cas de tsunami que s'estipula en el punt 3.1 d'aquest Pla [2].

Per a acomplir les funcions prèviament esmentades, cal una adequada preparació dels factors següents:

➤ Direcció i coordinació d'emergències declarades d'interès nacional

És la tasca del Ministre de l'Interior coordinar i dirigir les emergències en cas de declarar l'afectació del tsunami com d'interès nacional. Comptarà amb el suport d'un Consell de Direcció, amb ell com president, el Subsecretari del Ministeri de l'Interior com Vicepresident i els vocals. Aquests darrers són el Director General de Protecció Civil i Emergències, el General Cap de la UME i un representat de cada comunitat autònoma afectada. Com ja s'ha explicat en aquest document, si es declara d'interès nacional, el cap de la UME pren la direcció i coordinació operativa a la zona afectada. També s'estableix un Gabinet Central d'Informació i Comunicació per a elaborar, centralitzar i difondre informació sobre l'emergència a la premsa i al públic en general. Aquest Gabinet depèn de la Direcció General de Protecció Civil i Emergències.

➤ Suport als equips que gestionen els Plans Autonòmics

En cas que l'emergència no sigui considerada d'interès nacional, però que la comunitat afectada requereixi dels mitjans exteriors a ella a nivell estatal, la Direcció General de Protecció Civil i Emergències els facilitarà a excepció dels militars.

Així, els delegats i subdelegats del govern hauran de mobilitzar els mitjans estatals fora del territori afectat i que no pertanyin a les Forces Armades. No obstant, resta la possibilitat que els responsables de protecció civil de la regió demanin al Ministeri de l'Interior la intervenció de la UME. Aquest, després d'estudiar la magnitud de l'emergència, podrà demanar al Ministeri de Defensa que la UME intervingui.

Si es requereix de l'ajut internacional, la Direcció General de Protecció Civil i Emergències en farà la sol·licitud respectant els codis de la Unió Europea i dels tractats internacionals.

➤ Comitè Estatal de Coordinació

Es constitueix un *Comité Estatal de Coordinación (CECO)* amb el subsecretari del Ministeri de l'Interior com a president, el Director General de Protecció Civil i Emergències com vicepresident, i els caps dels agents implicats en la protecció civil en funció de vocals.

El CECO, tal com s'estableix a l'article 40.3 de la *Ley 6/1997*, del 14 d'abril [16], és una comissió de treball i té el suport tècnic, de personal i de pressupost de la Direcció General

de Protecció Civil i Emergències. Al mateix temps, ha de coordinar la mobilització de mitjans externs a la comunitat afectada en situació d'emergència, fer estudis i millores en el Pla Estatal i finalment planificar i realitzar exercicis i simulacres.

En el pla es podran incloure també els mitjans de cada comunitat i també els d'altres organitzacions privades i públiques.

3.3.2 Pla autonòmic

El Pla de Comunitat Autònoma davant el Risc de Tsunami estableix l'organització i procediments a seguir per a gestionar els recursos i serveis de resposta per part de les administracions i organitzacions privades o públiques en cas d'una megamonada en el seu territori.

Les funcions bàsiques del pla autonòmic són bàsicament iguals a les del pla estatal però en l'esfera local. Així, a grosso modo, es tracta d'establir els procediments a seguir en cas de tsunami en la comunitat, i de col·laborar amb les administracions locals i regionals a fi d'assolir una resposta efectiva amb els mitjans disponibles.

Presenta com a objectiu el de definir el Pla que permeti el correcte desenvolupament de les funcions anteriorment esmentades. En segon lloc han de dur a terme la classificació de zones en la seva costa per a determinar els punts més vulnerables. Per últim, s'ha de garantir la informació a la població dels riscos potencials i en cas de onada massiva, avisar-los adequadament, emprant en tal cas els mitjans de comunicació social previstos en l'article 4.6 de la *Ley 2/1985*, del 21 de gener, sobre Protecció Civil [12].

Pel que fa a l'estructura i organització, és necessari definir la jerarquia i procediments a seguir en el marc autonòmic per a respondre amb el personal i serveis disponibles a l'eventualitat d'un tsunami.

- Direcció i coordinació: en el pla s'inclou la definició de l'òrgan que haurà de dirigir-lo, activar i desactivar-lo (sempre que no sigui d'interès nacional), i fer la presa de decisions convenients. Si la comunitat autònoma ho estima oportú, pot delegar aquestes funcions al *Comité de Dirección*. En tal cas la representació del Ministeri de l'Interior correspon al Delegat del Govern en la comunitat i segons el territori, al Subdelegat de la província afectada.
El Pla també estableix la composició i funcions dels membres del comitè assessor. En aquest comitè hi haurà inclosos part dels membres de la *Comisión Técnica sobre el riesgo de maremotos*, com s'estableix al punt 3.3 d'aquesta Directriu.
- Grups d'acció: el Pla estableix grups d'acció amb les respectives funcions, estructura i mitjans. Entre les funcions s'inclouen:
 - Evacuació i assistència social
 - Abastiment i control sanitari d'aigua, aliments i roba
 - Assistència sanitària
 - Rescat i salvament
 - Seguretat ciutadana i control d'accessos

- Informació a la població
- Control i reparació d'urgència d'estructures i instal·lacions per als serveis bàsics a la població
- Assegurar les comunicacions

L'operativitat del Pla ha de definir el funcionament dels elements operatius conforme al punt 3.4 de la Directriu. És necessari també un manteniment del Pla amb actualitzacions constants per a mantenir-lo vigent i adequat. S'inclou en comprovacions del pla i el funcionament, simulacres i informació a la població.

El Pla Autonòmic ha de ser aprovat per la comunitat i al mateix temps per la *Comisión Nacional de Protección Civil*.

3.3.3 Pla local

Les característiques dels tsunamis, i en especial al mar Mediterrani, donen un temps de resposta a una crisi de molt poc temps. En aquest sentit és interessant treballar en la protecció civil des de l'àmbit local per a estar al màxim a prop del ciutadà en cas de tsunami.

Així el Pla de la comunitat autònoma inclourà, en ell mateix, plans d'actuació en l'àmbit local donant un protocol d'actuació en l'esfera local dels territoris més vulnerables a aquesta amenaça. Aquestes directrius han de tenir en compte els següents factors:

Els Plans d'Actuació en l'Àmbit Local han de ser instruments per a les autoritats locals a l'hora de donar una resposta de proximitat en cas d'emergència. Han de facilitar l'autoprotecció ciutadana donant una alerta precoç al mateix temps que auxili immediat. S'haurà, doncs, d'especificar clarament els sistemes d'alerta a la població i els plans d'evacuació segons el col·lectiu social, la seva mobilitat, el tipus d'evacuació i els recursos públics a mobilitzar.

En el Pla Autonòmic s'inclourà el contingut mínim dels Plans Locals, que en les àrees d'alta perillositat serà:

- L'anàlisi dels riscos de tsunami en l'àmbit del municipi i segons la cartografia local.
- Els mitjans per a la difusió d'alertes.
- Establir dispositius per rebre avisos dels òrgans que dirigeixen el Pla i establir els missatges d'autoprotecció a difondre a la població.
- Crear un pla d'evacuació, els itineraris i les zones de refugi.
- Especificar els mitjans humans i materials a mobilitzar en cas d'emergència.
- Cal preveure l'organització de l'emergència fins a la normalització d'aquesta.
- Fer un programa de simulacres i d'informació prèvia a la població.

Es podran establir, així, convenis entre els Plans estatals, autonòmics i locals a fi de millorar la seva eficàcia i els Plans locals seran aprovats per la Comissió de Protecció Civil de la comunitat autònoma respectiva.

4. Estudi de la resposta

Vista la situació d'Espanya en matèria de protocols i lleis existents pel que fa als tsunamis, a continuació es procedeix a analitzar l'àmbit de la logística humanitària i la recerca existent sobre aquest tema. Així en els transcurso d'aquest apartat es vol identificar la tècnica més adequada per a planificar una resposta logística en els 4 casos d'estudi ulteriors.

4.1 Mètode de resolució logística

Com s'explica en el capítol 10, existeixen un seguit de possibilitats interessants per als casos a resoldre. En general totes presenten punts forts i febles pel que fa a les necessitats concretes del treball. La decisió final és la de tractar el cas com un problema de rutes de vehicles (Vehicle Routing Problem o VRP), en la variant TSP o *travelling salesman problem* (problema del viatjant de comerç), per a trobar la solució més òptima.

Un problema de rutes de vehicles (VRP) és un problema d'optimització combinatòria que pretén respondre a la pregunta de saber quina és la flota de vehicles requerida per a satisfer la demanda d'uns certs nodes. És normalment utilitzat en la indústria, però és igual de vàlid per al cas que ocupa el treball.

Així doncs, permet saber de manera rigorosa la flota de camions requerida per a distribuir els ajuts necessaris al conjunt de nodes que en necessiten.

Normalment, s'utilitza l'heurística per a resoldre problemes de la vida real per evitar limitacions en la resolució lligades a la dimensió del problema.

Habitualment, l'objectiu dels problemes de rutes de vehicles és reduir el cost de la distribució al mateix temps que es satisfà de manera adequada la demanda en tots els nodes.

L'ús d'aquest mètode de resolució per als casos del treball és adequat ja que al parlar de la minimització de costos, no només es fa referència a minimitzar el cost de la distribució. A part de l'aspecte econòmic, també es minimitzen les distàncies a recórrer i es minimitza el temps transcorregut fins a fer arribar l'ajut als punts que en requereixen.

Els VRP van aparèixer per primera vegada en una publicació de George Dantzig i John Ramser [20] l'any 1959, on donaven per primer cop un algorisme per a resoldre un problema de distribució de petroli. En aquell

cas, i com habitualment, es tracta d'un problema de distribució amb un magatzem o punt central que ha de repartir béns a un seguit de punts amb demandes determinades.

Posteriorment, l'any 1964, Clarke i Wright [21] milloren el treball de Dantzig i Ramser a l'incloure de manera efectiva una heurística de Greedy o l'enfoc voraç per a solucionar el problema.

El seu enfoc segueix sent un referent avui dia i és l'utilitzat en el programa que soluciona els

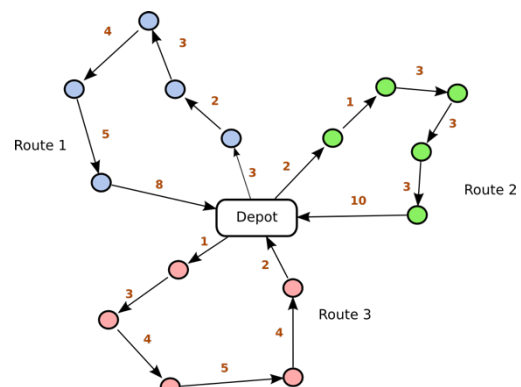


Fig. 4.1. Exemple d'un problema VRP.

Font: NEO

casos particulars estudiats al final del treball.

Com s'ha explicat, es tractaran els casos com VRPs (modalitat simplificada TSP) per trobar un disseny òptim de rutes per a vehicles a l'hora de distribuir la demanda d'ajuda als nodes del seu voltant. Es minimitza el cost de la distribució i la distància recorreguda per a fer efectiva la totalitat del repartiment que es demana.

La interfície utilitzada per a aplicar el mètode és un projecte de la Pompeu Fabra desenvolupat per l'Helena Ramalhinho Lourenço, l'Alex Grasas i el Guillem Gimenez Ruiz en el Pla CQUID 2009-2011 de suport a la innovació i a la qualitat docent [19]. El seu treball permet aplicar de manera intuïtiva i fàcil el mètode de Clarke i Wright utilitzant una interfície visual i l'ús de Google Maps.

Aquest darrer punt s'ha considerat crucial per a l'elecció del seu treball per a resoldre els casos ja que a través de Google Maps és possible calcular amb la millor precisió la ruta a que han de realitzar els vehicles. Això, és un punt clau ja que les distàncies exactes a recórrer normalment no són disponibles en la resolució de models més complexos i s'agafen valors molt aproximats. Com a conseqüència, la seva resolució pot perdre molta precisió i claredat en la resolució. En aquest cas, la combinació d'un model contrastat i de referència com el de Clarke i Wright amb la precisió de Google Maps fan la feina desenvolupada en el Pla CQUID una eina molt potent per a resoldre els problemes logístics actuals, ja sigui en àmbits industrials o com en aquest cas, humanitaris.

Al mateix temps, és necessari recalcar que no s'inclou en el treball la resolució pas per pas de cada cas ja que s'utilitza el mètode ja detallat de Clarke i Wright que es pot trobar en la referència [21]. Allà consta de manera precisa la metodologia emprada. En aquest treball es presenta el resultat d'aplicar el mètode en els casos d'interès concrets, ja que s'interpreta que el lector ja hi pot trobar la informació necessària i en cas de voler saber més sobre el model, se'l convida a revisar la referència per a més detalls. En cas de voler més informació sobre el mètode de resolució, s'amplia en el capítol 10.

Un cop està clar el mètode de resolució que s'utilitzarà per a resoldre els casos, falta determinar sobre el mapa els punts concrets que formen part de la xarxa de distribució.

Aquests 4 casos d'estudi presenten l'aplicació d'un pla de distribució d'ajuda humanitària en les 4 ciutats (i voltants) demogràficament més rellevants i vulnerables a un tsunami a Espanya: Cadis, Màlaga, Cartagena i Palma de Mallorca.

Es prenen aproximadament 16 nodes per cas. Prenent com a referència el cas d'estudi del model de Vitoriano i Montero [6] per a definir una xarxa de nodes, s'estableixen 10 nodes sol·licitants d'ajuda (de color blau fosc en el mapa), 5 fonts principals (l'aeroport més pròxim, el port per molt que estigui damnificat, la capital de la comunitat afectada o nucli urbà més pròxim i els hipermercats Carrefour, tots ells de color lila). Queda un node intermedi que actua com a *hub* logístic (vermell en el mapa).

A l'hora de seleccionar els nodes per al model s'han seguit un conjunt de criteris en funció del seu caràcter (fossin receptors, intermedis o proveïdors). A continuació s'esmenten alguns del elements considerats a l'hora d'elegir els nodes:

- Elecció de nodes receptors: espais amples amb capacitat per a acollir persones i materials, afectació del punt pel tsunami, espai de caràcter públic per tenir-ne plena disponibilitat en tot moment, densitat de població de la zona, població propera altament afectada per la catàstrofe, etc.
- Elecció dels nodes intermedis: punts ben comunicats, de fàcil accés logístic, espaiosos, etc.
- Elecció de nodes proveïdors: punts d'interès logístic per poder rebre ajuts (aeroports, ports, etc.), hipermercats Carrefour degut al seu conveni d'ajuda amb la Creu Roja i connexions viàries amb altres pols urbans pròxims capaços de proporcionar ajuda (capital de província, zona de l'interior no afectada, etc.).

Al mateix temps es tenen en compte 2 tipus de camions (pesants i lleugers). Els camions disponibles per al transport són els que disposa la UME en el conjunt dels seus batallons. La curta distància existent entre el focus de l'emergència i la seu dels batallons de la UME i les bones carreteres que els connecten fan que es pugui considerar que el conjunt de la flota de transport es podria desplaçar ràpidament a la zona afectada. Així doncs:

- Batalló I (Madrid): 17 camions pesats i 49 vehicles lleugers.
- Batalló II (Sevilla): 43 camions pesants i 53 vehicles lleugers.
- Batalló III (Valencia): 25 camions pesants i 53 vehicles lleugers.
- Batalló IV (Zaragoza): 17 camions pesants i 33 vehicles lleugers.
- Batalló V (León): 2 camions pesants i 5 vehicles lleugers.

Els vehicles totals disponibles són 104 camions pesants i 193 vehicles lleugers segons la informació disponible de la UME. Com a observació cal mencionar que existeix un cert nombre de models de vehicle diferents dintre de la UME. Els vehicles lleugers a vegades també inclouen furgonetes o cotxes militars equipats per al transport de persones i material. No obstant això, davant de la impossibilitat de considerar tots els vehicles diferents, s'interpreta que els vehicles lleugers disponibles són d'un model concret, el camió lleuger TT 4 Tm IVECO 7226 (ja que és el model més abundant dintre de la categoria, amb capacitat per a transportar 4 tones). Per altra banda, els vehicles pesants són camions pesants TT 10 Tm IVECO M-250 (capacitat de transport de 10 tones).

Com és obvi, els vehicles pesants i de més capacitat de transport seran usats per connectar els nodes proveïdors amb els intermedis. Així es pot transportar de manera eficaç l'ajut fins als nodes intermedis que connecten amb els sol·licitants. Posteriorment, els vehicles lleugers prenen el relleu per a portar l'ajuda dels nodes intermedis als nodes sol·licitants, i les dimensions reduïdes els donen més facilitat i agilitat per operar en zones urbanes com cascals històrics de carrers estrets o passatges potencialment obstruïts amb brossa del tsunami. Finalment, per a cada cas, s'estima un pressupost aproximat i un total de tones a distribuir en el conjunt dels nodes sol·licitants. Aquests valors són aproximacions basades en la resposta requerida en catàstrofes anteriors similars a les dels casos tractats. No obstant això, el volum exacte d'ajuda a distribuir pot fluctuar segons la magnitud exacta de la catàstrofe depenent de variables com l'alçada de l'onada o l'època de l'any en què succeeix (un tsunami en temporada d'estiu seria molt més desastrós en pèrdues humanes i materials que un a l'hivern).

Finalment, és interessant comentar que la resposta logística desenvolupada respon a les necessitats de la població els dies i setmanes següents a la catàstrofe. Si hi ha afectats a més llarg termini, aquests serien traslladats en campaments provisionals a on les necessitats logístiques serien diferents.

4.2 Estudi de vulnerabilitat de la costa mediterrània d'Espanya

Aquest projecte proposa l'estudi de la resposta del servei de protecció civil regional i estatal en cas d'emergència a la costa mediterrània. Consegüentment, a l'hora de fer aquest estudi i els ulteriors casos d'anàlisi concrets, cal definir els punts de més perillosos i vulnerables a aquests fenòmens. Així, prenent el registre històric, es pot veure els punts d'afectació més freqüents per onades massives i inundacions.

No tots els 7.876 kilòmetres de costa espanyola tenen la mateixa probabilitat de patir un tsunami, i en tal cas, tampoc tindrien les mateixes conseqüències. Cal tenir en compte la costa, la densitat de construcció, i els focus potencials de sismes al mateix temps que les zones tsunamigèniques (Figures 5.3)

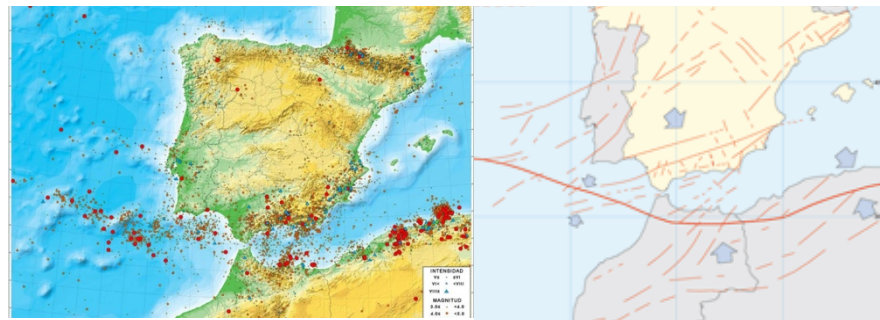


Fig. 4.2. Registre sísmic de la Península Ibèrica i voltants comparada amb la ubicació de la falla. Font: IGN

El projecte de Pla en cas de tsunami estatal no inclou encara cap mapa concret ni estudi publicat sobre això. Per tant, l'autor del present projecte es guia dels estudis científics existents i de publicacions històriques per a estimar els punts calents i amb una alta perillositat.

Pel que fa a la costa d'Espanya, si es té en compte l'historial de sismes i els estudis fets per les agències de geologia de la zona, els focus potencials més clars són amb diferència el golf de Cadis i el nord d'Algèria. Altres punts són plausibles però més improbables, de tal manera que el present treball prendrà com a hipòtesi aquests focus.

Queda patent que en cas de preveure tsunamis que afectessin la costa espanyola, aquests provindrien majoritàriament dels dos focus esmentats, i doncs les zones d'afectació resulten ser la costa de Cadis, la Costa del Sol, la de Múrcia i les Balears. Aquest seran doncs els casos posats a anàlisi i a continuació s'estudiarà la cadena de resposta en cas de tsunami en cada zona de les considerades com més vulnerables a les megaonades.

També s'ha de tenir en compte altres aspectes a l'hora de respondre a una emergència per tsunami, com per exemple, els centres logístics del territori, els equips de protecció civil disponibles, etc.

Actualment existeixen a Espanya 4 centres logístics de la Creu Roja: a Madrid (Fuenlabrada), Las Palmas de Gran Canàries, Catalunya i la Comunitat Valenciana. Cada un d'aquests centres permet disposar dels recursos materials necessaris per pal·liar una emergència internacional de manera ràpida i eficaç. Es manté de manera constant un nivell de estoc amb ajuda humanitària preparada per a enviar.

És necessari mencionar que la *Red Nacional de Alerta de Tsunami* està emmarcada dins la xarxa NEAMTWS (Sistema d'Alerta de Tsunamis en el Nordest de l'Atlàntic) [2].

El sistema hauria, doncs, de ser capaç de donar l'alerta de manera ràpida ja que es poden produir tsunamis que en menys de 20 minuts arribin a les costes espanyoles, tal i com afirma la Red Sísmica Nacional. La xarxa rep també avisos sísmics del Marroc i Algèria però de manera encara ineficaç [5]. A l'hora d'estudiar l'afectació dels tsunamis al mar Mediterrani i l'Atlàntic nord oriental, hi ha dos projectes a tenir en compte:

- El primer, motivat pel succés a Indonèsia, és el fruit de la col·laboració de la Comissió Oceanogràfica Intergovernamental de la UNESCO amb la Unió Europea. Creen el projecte TRANSFER, acrònim de *Tsunami Risk and Strategies for the European Region*, que posa en marxa una xarxa d'alerta a nivell europeu i analitza les àrees del territori més vulnerables.
- El segon es el projecte Medslide, amb la col·laboració també de diverses universitats europees, *Puertos del Estado* i l'IGN, estudia els afectes de tsunamis sobre Europa, ja siguin provocats per sismes o corriments de terra.

Ambdós han estat utilitzats al llarg del projecte, entre d'altres fonts d'informació, per a basar científicament els estudis d'afectació locals i estatals.

També és necessari considerar els plausibles riscos d'un sisme a nivell d'afectació a les centrals nuclears, o d'un tsunami. Després de Fukushima, el precedent creat ha esperonat un seguit d'estudis que recalquen que les centrals estan dissenyades per a suportar terratrèmols.

Al mateix temps, un estudi del Col·legi d'Enginyers de Catalunya [33] posterior al sisme de Lorca conclou que les centrals de Vandellòs no patirien els efectes d'un tsunami de les dimensions previsibles al mar Mediterrani. Sent aquestes les centrals més properes a la costa, es pot concloure que cap megaonada tindria conseqüències catastròfiques a nivell nuclear en la costa mediterrània espanyola ni a nivell estatal.

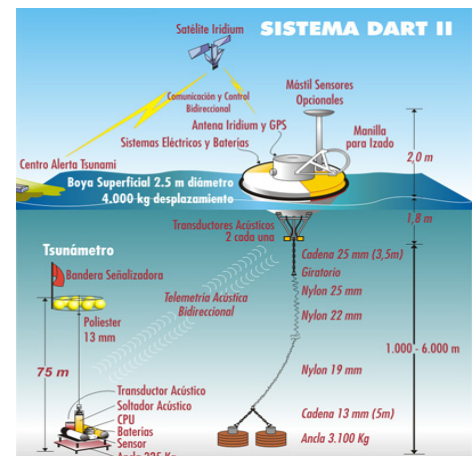


Fig. 4.3. Esquema del funcionament d'un sistema de detecció de tsunamis. Font: DART

El que segueixen són 4 casos on s'estudia l'afectació i resposta en cas que un tsunami arribi a la costa espanyola. Han estat elaborades per l'autor a través de combinar estudis científics i dades històriques. Per tant, segueixen els 4 casos més plausibles de tsunami amb les condicions tècniques específiques de cada cas:

- Epicentre
- Altura del tsunami
- Temps d'arribada a la costa

Tots ells són casos realistes i s'estudien en el pitjor cas (*worst-case scenario*) a fi de preparar la resposta logística i operacional en les pitjors condicions a les que es poden enfrontar en el futur els serveis de Protecció Civil.

Cal mencionar que en l'altura del tsunami, es considera un valor lleugerament superior a la mitjana de l'onada simulada en cada cas. Això és degut a què segons els estudis, en golfs i ports les onades es veuen magnificades. Això vol dir que es preveu una onada d'una certa altura, però que quan arriba a port o a un golf es magnifica.

Per tant, en aquests casos on s'estudia l'afectació en zones poblades i de característiques similars a les mencionades, és necessari tenir en compte aquest augment.

5. Cas 1: Epicentre a la costa portuguesa amb afectació a Cadis

5.1 Introducció del cas

Segons el president del *Instituto Español para la Reducción de los Desastres*, José Antonio Aparicio Florido, el tsunami de Cadis es “repetirà amb tota certesa, però no se sap quan” [17].

Huelva i Cadis són els dos punts d'Europa amb més risc de tsunamis i com destaca Emilio Carreño, “la societat espanyola no és conscient que la major catàstrofe natural patida pel país va ser el tsunami de 1755, causant de 1200 morts a la badia de Cadis” [17].

Un tsunami en la costa atlàntica és menys probable però de dimensions més importants, i per tant, de perillositat major, degut a les grans dimensions de la falla Azores-Gibraltar i al major gruix d'aigua oceànic, capaç de provocar tsunamis com el d'Indonèsia el 2004.

Com explica el catedràtic en geomorfologia Joaquín Rodríguez Vidal, el primer tsunami arriba a la costa atlàntica l'any 218 abans de Crist, segons un estudi de la Universitat de Huelva. Posteriorment, amb el cas de Cadis, els 100.000 morts de la zona afectada fan patent la perillositat de l'amenaça (90.000 a Lisboa) [17].

Avui es preveu, segons el president del *Instituto Español para la Reducción de los Desastres*, que el cas de Cadis es repetirà “amb tota certesa” i que es pot preveure “que succeeixi mecànicament cada 600 anys”. No obstant això, “pot succeir avui mateix, i la població ha d'aprendre a conviure amb aquest risc”. Segons el catàleg europeu de tsunamis, entre els anys 218 aC i el 1900, s'han produït tant sols en el golf de Cadis 18 tsunamis, dels quals dos especialment catastròfics, els del 1531 i l'esmentat al 1755 [9]. Això suposa una cadència d'aproximadament un tsunami catastròfic cada 250 anys en els darrers segles.

Amb alta probabilitat, un tsunami que afecti la costa de Cadis i Huelva provindrà del Banco de Gorringe, a uns 300 kilòmetres al sud-oest del Cabo de San Vicente, Portugal afirma l'IGN [9].

Segons la universitat de Cantabria, amb una freqüència d'entre 70 i 150 anys arriben a aquestes costes tsunamis de 2 metres [17]. No obstant, en l'estudi es consideren tsunamis majors per a preveure la resposta en l'escenari més complicat. Així, segueix una predicció de magnitud equivalent a les grans onades que han sacsejat la costa de Cadis.

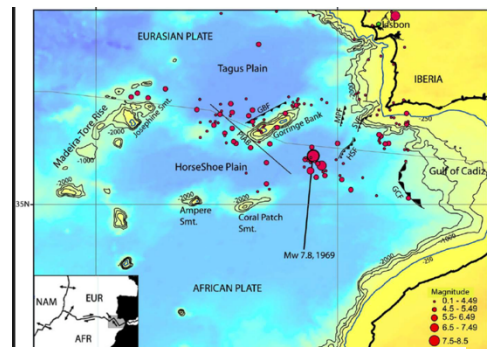


Fig. 5.1. Sismicitat a la cresta de Gorringe. Font: Marine Geology

5.2 Descripció del cas

En el present estudi, es considera, doncs, que es produeix el següent cas:

- Sisme de magnitud 8.5 a la cresta de Gorringe.
- Tsunami resultant de 14 metres.
- Temps d'arribada a la costa del Cadis i Huelva: 20 minuts.

A continuació segueix un treball de recerca de com s'hauria de gestionar operativament i logística aquesta situació.

Un cop la nova *Red Nacional de Alerta de Tsunamis* detecta la possibilitat del tsunami a la costa espanyola, el personal de guàrdia de la *Red* traslladaria una alerta de tsunami a Protecció Civil per a què s'activin les mesures oportunes. S'activa la fase d'alerta de la *Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Maremotos*, amb la subfase d'alerta a les autoritats.

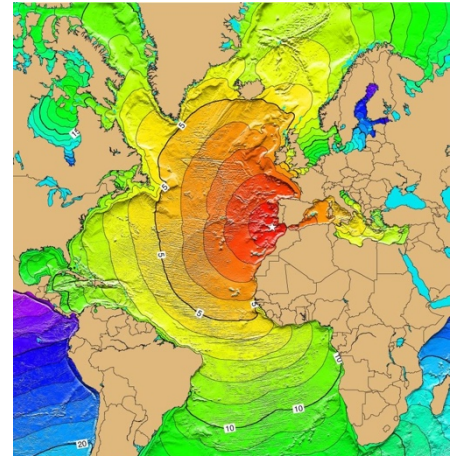


Fig. 5.2. Simulació d'un tsunami equivalent al del cas.

Font: NGDC

Els mareògrafs del *Organismo Público de Puertos del Estado* proporcionarien actualitzacions en temps real de l'aproximació de l'onada en cas de confirmar-se, o desmentirien l'alerta creada.

Un cop es confirmaria la presència d'una megaonada, es disposaria de menys de 20 minuts abans que l'onada arribi a la costa. S'activa a l'instant la subfase d'alerta a la població. Amb les previsions del projecte TRANSFER en el cas de Cadis, amb un tsunami de les característiques definides, 20 barris de la ciutat es trobarien inundats en menys de 45 minuts. I afectaria especialment els barris de la Zona Franca, Cortadura, La Laguna, el passeig marítim, Puntales, San José i part de la zona dels Cuarteles de Varela. En el cas antic caldria dirigir la població a El Pópulo i El Mentidero ja que l'aigua afectaria la resta [5].

El Barrio de La Viña en el cas antic seria el més damnificat, i el fet que el gruix de la població es trobi ara fora de la protecció dels murs fan de la ciutat nova una zona vulnerable al pas de l'onada.

Segons el director general de investigació de la *Universidad de Cádiz*, Javier Benavente, es podrien mitigar altament els danys a persones desplaçant la població a zones altes [17]. En el cas de Cadis, això voldria dir dirigir el públic a la Alameda en el cas antic, i en la nova fer-los pujar al segon o tercer pis dels edificis. Sosté això degut al fet que el 1755 l'onada era de 18 metres però a la ciutat hi va arribar un espiral d'espuma de menys altura. Segons ell el temps de resposta seria de 20 minuts com en l'altre cas, i els edificis aguantarien en general la situació exceptuant els antics i els serveis com conduccions d'electricitat i aigua.

En aquell cas l'onada de població que va decidir evacuar la ciutat els va fer vulnerables a l'onada que senzillament els va engolir en el seu camí a San Fernando. I tal i com va fer el governador de la època, tancant les muralles per salvar vides, avui la decisió preferible a conduir per Protecció Civil seria la de tancar les comunicacions i indicar a la població que busquin refugi en edificacions elevades.

Altres zones pròximes també serien altament afectades, com la platja de la Valdelagrana en el Puerto de Santa María. En la resta del golf de Cadis, les zones que es troben a més de 10 metres d'alçada estarien a priori protegides de la inundació per tsunami.

L'actual hospital de Cádiz es troba en una zona d'afectació per tsunami [3].

Com es pot apreciar en la Figura 5.4 els focus principals de població en aquest tram de la costa atlàntica, i que, per tant, haurien de centrar els esforços de Protecció Civil en cas de tsunami, són Cadis i Huelva.

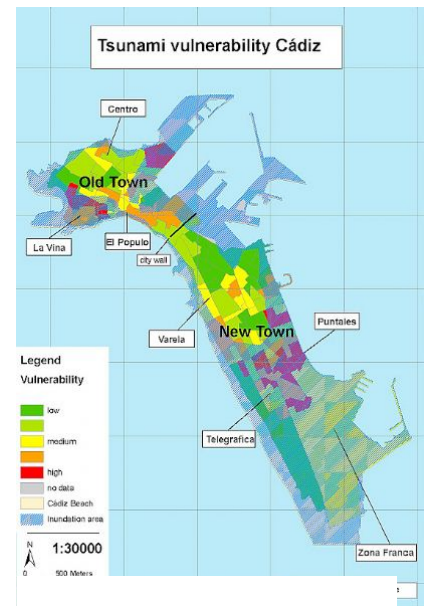


Fig. 5.3. Vulnerabilitat de Cadis davant tsunamis. Font: TRANSFER

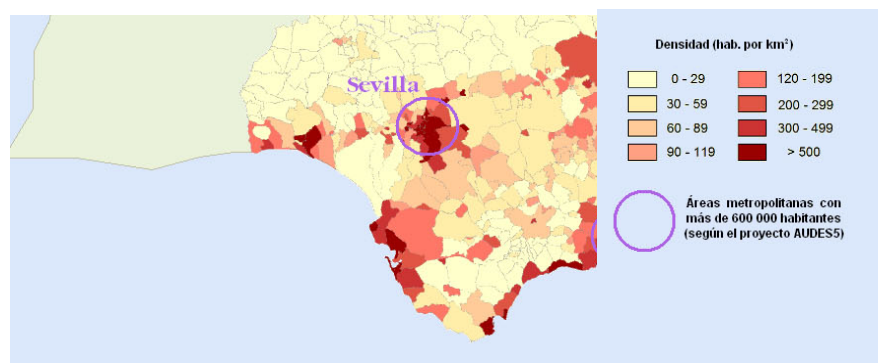


Fig. 5.4. Densitat de població en el Golf de Cadis. Font: Ministerio del Interior

Les zones més afectades serien doncs la Zona Franca, el moll, el Barrio de los Puntales i la Bahía de la Paz.

Es veurien afectades altres infraestructures clau com l'ajuntament, l'Hospital Puerta del Mar i la central elèctrica de la capital.

5.3 Pla d'actuació logística

El pla consisteix en distribuir de la manera més eficient possible l'ajut que s'estima que podria necessitar la població de Cadis (120.468 persones el 2015) en la situació presentada anteriorment. D'aquesta manera s'haurien de distribuir unes 100 tones d'ajuda humanitària. Les tones requerides s'estimen en funció de la magnitud del tsunami i de l'afectació potencial que pot causar sobre la població.

Pel que fa a les autoritats de protecció civil, el Segon Batalló d'Intervenció d'Emergències (BIEM II) es troba en les instal·lacions de la UME a la Base Aèria de Morón, a Morón de la Frontera (Sevilla). L'equip de 624 persones seria l'encarregat de cobrir l'emergència conjuntament amb altres autoritats i associacions.

A part de la preparació genèrica de la UME, aquest batalló compta amb especialistes en busseig, muntanya i cans. Per la naturalesa dels tsunamis, la preparació en rescat subaquàtic, recuperació de material i cossos submergits, treballs amfibis i equips cinològics per a la busca de persones serien de gran utilitat.



Fig. 5.5. Zona operativa i recursos del batalló regional de la UME. Font: UME

Aquests efectius serien els primers disponibles en cas d'emergència. No obstant, s'interpreta que en marge d'hores es podria disposar també de l'ajut de la resta de batallons de la UME.

Com s'ha esmentat amb anterioritat, la manera més efectiva de gestionar la reacció de la població en una catàstrofe així seria guiar la població de Cadis a fer una evacuació vertical, és a dir, a buscar les zones més altes al seu voltant (ja sigui en les plantes elevades dels edificis o en zones altes de la ciutat). Una vegada passada l'onada quedaria una població molt afectada i amb una gran necessitat de productes bàsics per a sobreviure. Per a definir com s'estructura el repartiment dels ajuts, es comença per determinar una matriu amb els nodes logístics a considerar en aquest cas.

Els criteris de definició de nodes i arcs explicats anteriorment s'apliquen en el cas de Cadis per a obtenir el següent resultat:

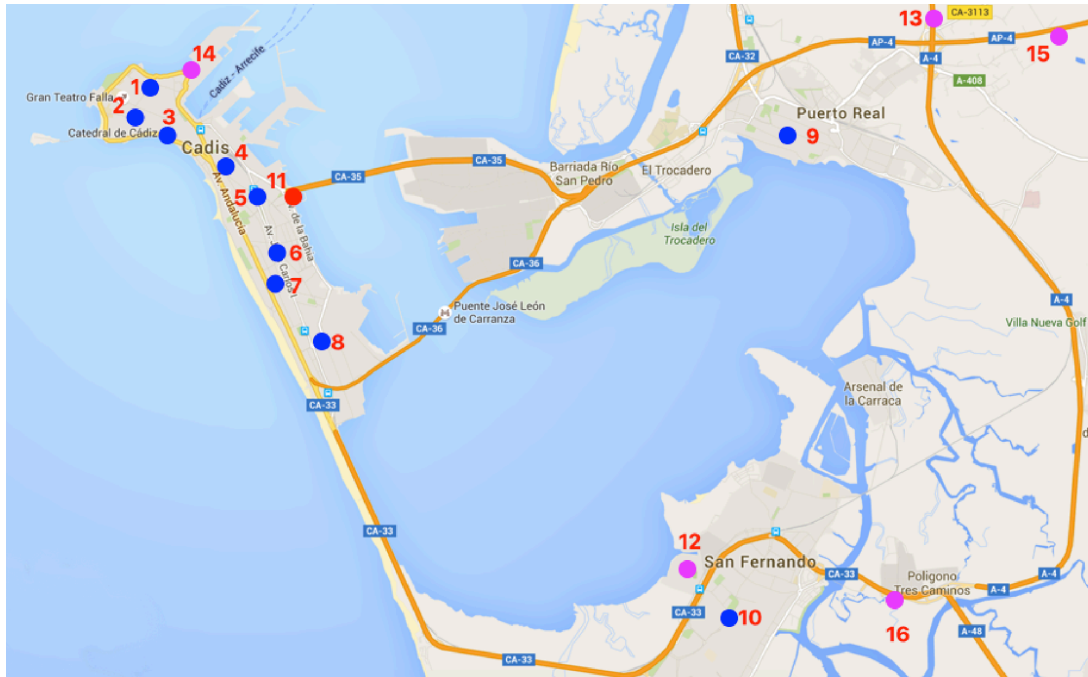


Fig. 5.6. Mapa indicatiu dels nodes del cas d'estudi gadità. Font: Autor - Google

A continuació es pot trobar la llista detallada dels 16 nodes de la matriu que es veuen en el mapa anterior:

Node 1 (receptor): Plaça de San Antonio, node 2 (receptor): Mercat Central de Abastos, node 3 (receptor): Plaça de la Catedral, node 4 (receptor): Puerta de Tierra, node 5 (receptor): Estació San Severiano, node 6 (receptor): Estació Segunda Aguada, node 7 (receptor): Hospital Universitari Puerta del Mar, node 8 (receptor): Glorieta Zona Franca, node 9 (receptor): Ajuntament de Puerto Real, node 10 (receptor): Pabellón Parque San Fernando, node 11 (intermedi): Rotonda Av. De Huelva, node 12 (proveïdor): Hipermercat Carrefour Bahía, node 13 (proveïdor): Hipermercat Carrefour El Paseo, node 14 (proveïdor): Port de Cadis, node 15 (proveïdor): Font Nord (AP-4, Jerez de la Frontera), node 16 (proveïdor): Font Sud (CA-33).

En el port es podria rebre ajuda d'altres ports veïns menys afectats per la onada com per exemple el de Porto o els ports mediterranis de l'Estat espanyol. Al mateix temps estaria potencialment proveït per l'ajuda del *Centro Logístico de Ayuda Humanitaria de Cruz Roja y Media Luna Roja de Canarias*, el qual és el centre logístic encarregat de l'Àfrica i la zona del Carib, però que podria donar suport també a la zona de Cadis aproximadament 2 dies després de produir-se la catàstrofe.

Els valors de la següent matriu fan referència a la distància existent entre els nodes del graf en kilòmetres arrodonits.






















Customer											
Demand (U)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
Depot (0)		4	4	4	2	1	2	3	2	9	13
	0	0	1	1	2	3	4	5	12	15	
		0	1	1	3	3	3	5	13	15	
			0	1	2	3	3	5	12	14	
				0	1	2	2	4	11	13	
					0	0	2	2	10	12	
						0	1	1	11	11	
							0	1	11	11	
								0	10	10	
									0	15	
										0	

Fig. 5.7. Matriu dels nodes del graf gadità. Font: Autor - CQUID (UPF)

No s'ha establert cap ordre prioritari de visita ja que en realitat es tindran múltiples vehicles realitzant cada ruta simultàniament. A continuació s'aplica el VRP combinat amb Google Maps i s'obté el recorregut a realitzar per cada vehicle. Cada vehicle transporta per viatge 3,5 tones d'ajuda aproximadament:

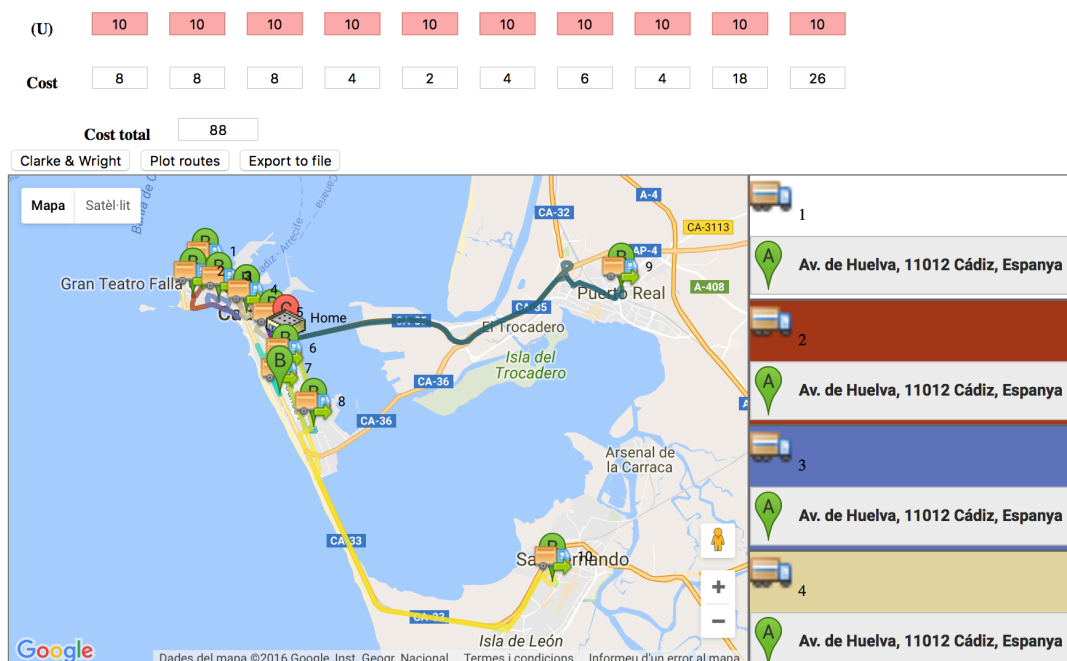


Fig. 5.8. Mapa de Cadis amb els recorreguts. Font: Autor - CQUID (UPF)

En aquest cas i en els altres, al disposar dels vehicles suficients en el batalló regional de la UME, es pot interpretar que cada ruta serà feta per diferents vehicles més enllà del problema tradicional on només es disposa d'un vehicle per a totes les rutes. De totes maneres, l'ús del VRP concret permet calcular el nombre de vehicles requerit i les rutes a realitzar per a fer arribar l'ajuda com abans millor. Així doncs, els vehicles totals requerits per a la distribució de l'ajuda inicial a la població de la zona de Cadiz ciutat i voltants és de 30 vehicles lleugers (el batalló local de la UME en té 53) treballant de manera simultània.

Finalment, la solució explicada considera tots els factors importants a tenir en compte i proporciona una solució precisa a l'eventual crisi humanitària a Cadis. Amb el resultat proporcionat es subministra ajut al conjunt dels habitants de la manera més ràpida i eficaç.

També s'estima la distància a recórrer per part dels vehicles pesants, que és la següent; node 12: 28km, node 13: 36km, node 14: 6km, node 15: 70km, node 16: 54km. Al transportar cada camió 10 tones i necessitar-ne 100, es requereixen 10 vehicles pesants (2 per node proveïdor) i el doble de casa distància, fent un total de 388 kilòmetres.

La taula següent resumeix els valors del pla logístic:

Vehicles	Nombre	Distància (km)
Lleugers	30	264
Pesants	10	388
Total	40	652

Taula 5.1. Resum de l'operatiu en vehicles i recorregut. Font: Autor

6. Cas 2: Epicentre al Mar d'Alboran amb afectació a la Costa del Sol

6.1 Introducció del cas

El mar d'Alboran consta de nombrosos antecedents de sismes, entre els quals alguns han provocat tsunamis en el passat. Entre els sismes més recents, el passat 25 de gener del 2016 es produeix un terratrèmol de força 6.3 al mar d'Alboran, a 10 kilòmetres de profunditat. Deixa nombrosos desperfectes però no s'activa l'alerta de tsunamis perquè com indica el *Instituto Geográfico Nacional* el protocol comença al detectar-se un terratrèmol d'entre 6.5 i 6.7 a l'escala de Richter [18].

Abans, el 24 de febrer del 2004, un sisme de força 6.5 amb epicentre a Alhucemas deixa 600 morts i mil ferits. I un altre moviment important es produeix l'any 1994 [9].

Cal destacar que segons *Instituto Geográfico Nacional* en aquesta zona es produeix normalment el gran sisme en primer lloc i després les rèpliques d'intensitat inferior [7].

Aquest factor es tindrà en compte en el cas d'estudi.



Fig. 6.1. Epicentre dels sismes del 2016. Font: IGN

Tanmateix, es pot preveure en la zona un tsunami de 2 metres de mitjana. Es pren en aquest cas una onada de magnitud lleugerament superior per a incloure els fenòmens de ressonància presents en badies i ports.

Segons estudis publicats per l'IGN, un tsunami en el Mar d'Alborán tardaria tant sols 12 minuts en arribar a la costa, i 40 en fer-ho a la ciutat de Màlaga.

6.2 Descripció del cas

Ara es considera, doncs, que es produeix el següent cas:

- Sisme de magnitud 7 davant la costa del Marroc.
- Tsunami resultant de 2,5 metres.
- Temps d'arribada a la Costa del Sol: 15 minuts.
- Temps d'arribada a Màlaga: 40 minuts.

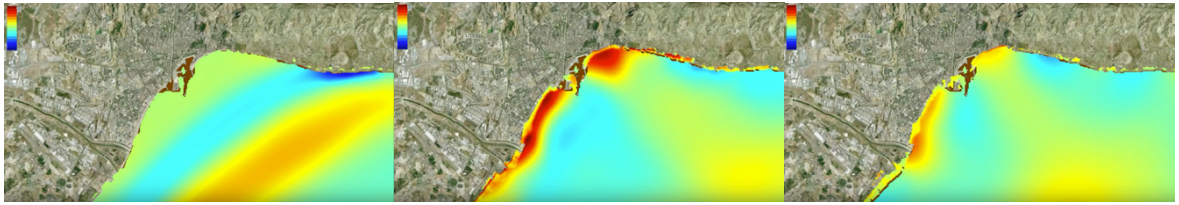


Fig. 6.2. Simulació d'un tsunami equivalent a Màlaga. Font: Universitat de Málaga

La resposta operativa i logística a aquesta situació determinaria que un cop que la Red Nacional de Alerta de Tsunamis detecta la possibilitat del tsunami a la costa espanyola, el personal de guàrdia de la Red traslladaria una alerta de tsunami a Protecció Civil per a què s'activessin les mesures oportunes. S'activaria la fase d'alerta de la *Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Maremotos*, amb la subfase d'alerta a les autoritats.

Els mareògrafs del *Organismo Público de Puertos del Estado* proporcionarien actualitzacions a temps real de l'aproximació de l'onada en cas de confirmar-se, o desmentirien l'alerta creada. En cas de confirmar-se, es disposaria de menys de 30 minuts de mitjana segons els estudis abans que l'onada arribés a la costa del sol. S'activaria llavors la subfase d'alerta a la població.

Estudis recents [4] mostren que amb un tsunami de 3 metres ja s'inundarien nombroses localitats de les Almeria i la Costa del Sol, causant grans desperfectes. Així, i segons els investigadors de la Universitat de Cantabria, un tsunami de més d'un metre i mig ja és perillós per als humans.

La gent present a les platges o a la costa es troba amb un riu de 2,5 metres que arrasa amb tot el que es troba. Provoca importants danys en les infraestructures costeres. Es veurien afectats serveis bàsics com la il·luminació de la zona, les telecomunicacions i l'aigua potable.

Amb una onada com la del cas es podria preveure un impacte directe a la població, probablement lamentant alguna víctima mortal i múltiples ferits en zones limítrofes al mar. Els nuclis que possiblement patirien més desperfectes materials i personals serien pel seu volum Màlaga, Motril i Almeria. A la figura 6.3 s'observa les zones amb més densitat de població i que per tant haurien de concentrar els esforços de rescat i abastiment de les autoritats de protecció civil.

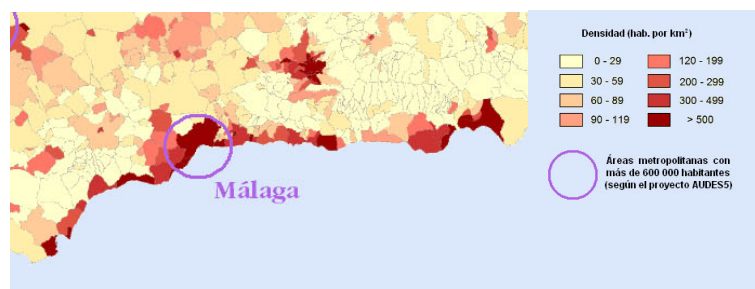


Fig. 6.3. Densitat de població a la zona d'estudi. Font: Ministerio del Interior

Segons els estudis de la Universitat de Málaga, a la costa pròxima a la capital hi arriba en primer lloc una petita ona positiva seguida d'una de negativa de major amplitud que fa retrocedir la línia de costa; a continuació una segona de positiva de major elevació provoca la inundació. Cal afegir a això el fet que a la badia de Málaga es produeixen efectes ressonants deguts a la interacció entre ones que poden elevar puntualment i de manera considerable el nivell de la onada inicial. També es podria donar el cas que la megaonada fos produïda per una esllavissada de terres submarines. En tal cas, es genera una onada de depressió en aquell sentit que provoca una enretirada del nivell del mar i en el sentit oposat, una onada que inunda sense retrocés previ de l'aigua. A vegades van lligats ja que el sisme provoca l'esllavissada, que al seu torn desencadena un tsunami.

6.3 Pla d'actuació logística

La resposta logística en el cas de la ciutat de Màlaga (566.913 habitants el 2014) afectada per un tsunami com el descrit hauria de distribuir unes 100 tones d'ajuda humanitària. En estudiar la distribució dels ajuts en el cas de Màlaga és necessari definir una matriu de nodes. Aquesta es pot trobar en la figura següent:

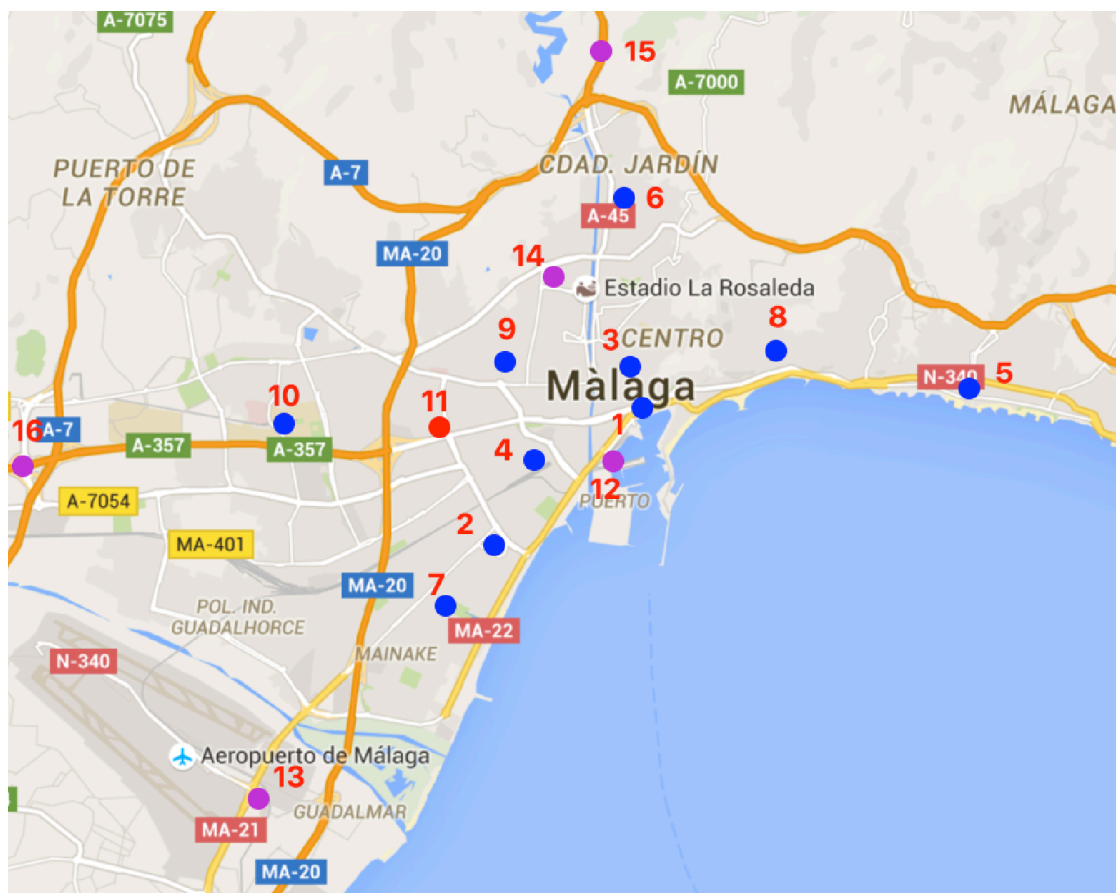


Fig. 6.4. Mapa indicatiu dels nodes pel cas de Màlaga. Font: Autor - Google

A continuació es pot trobar la llista detallada dels 16 nodes de la matriu que es veuen en el mapa anterior:

Node 1 (receptor): Paseo Parque, node 2 (receptor): Plaza de Ricardo de Orueta Duarte, node 3 (receptor): Plaza de la Merced, node 4 (receptor): Estación Maria Zambrano, node 5 (receptor): CEIP Ramón del Valle Inclán, node 6 (receptor): Colegio Público Blas Infante, node 7 (receptor): Parque Canino Parque del Oeste, node 8 (receptor): CEIP Parque Clavero, node 9 (receptor): Plaza Prudencio Jimenez, node 10 (receptor): Universidad de Málaga, node 11 (intermedi): Plaza de Manuel Azaña, node 12 (proveïdor): Port de Màlaga, node 13 (proveïdor): Aeroport de Màlaga, node 14 (proveïdor): Hipermercat Carrefour Rosaleda, node 15 (proveïdor): Font Nord (MA-3101), node 16 (proveïdor): Font Oest (A-357).

El Segon Batalló d'Intervenció d'Emergències (BIEM II) seria l'encarregat de donar resposta a l'emergència. Es tracta del mateix batalló que gestionaria el cas anterior, per tant, en cas de voler més informació es pot consultar l'apartat 5.3 d'aquest treball. Els camions disponibles pel transport serien en cas necessari els que disposa la UME en el conjunt dels seus batallons. En total es disposaria de 104 camions pesants i 193 vehicles lleugers.

A continuació s'aplica el VRP combinat amb Google Maps per obtenir l'encaminament de vehicles per a la distribució i per tenir una idea aproximada del cost de cada trajecte conjuntament amb la distància. La matriu del graf és:





















Customer											
Demand (U)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
Depot (0)		3	2	3	2	9	7	3	13	2	2
	0	4	1	1	5	5	4	4	3	5	
		0	4	2	8	9	2	6	3	4	
			0	2	5	4	5	3	2	6	
				0	7	10	2	5	3	5	
					0	9	9	3	10	16	
						0	14	7	4	9	
							0	8	8	6	
								0	8	14	
									0	5	
										0	

Fig. 6.5. Matriu dels nodes pel cas de Màlaga. Font: Autor - CQUID (UPF)

En aquest cas, com en el de Cadis, degut a tenir les mateixes tones d'objectiu i els mateixos vehicles, la distribució es faria també amb 3 vehicles per ruta transportant 3,5 tones cada un. Així doncs es requeririen 30 vehicles lleugers repartint als 10 nodes (3 per ruta).

A continuació es pot trobar les rutes per als nodes de la ciutat:

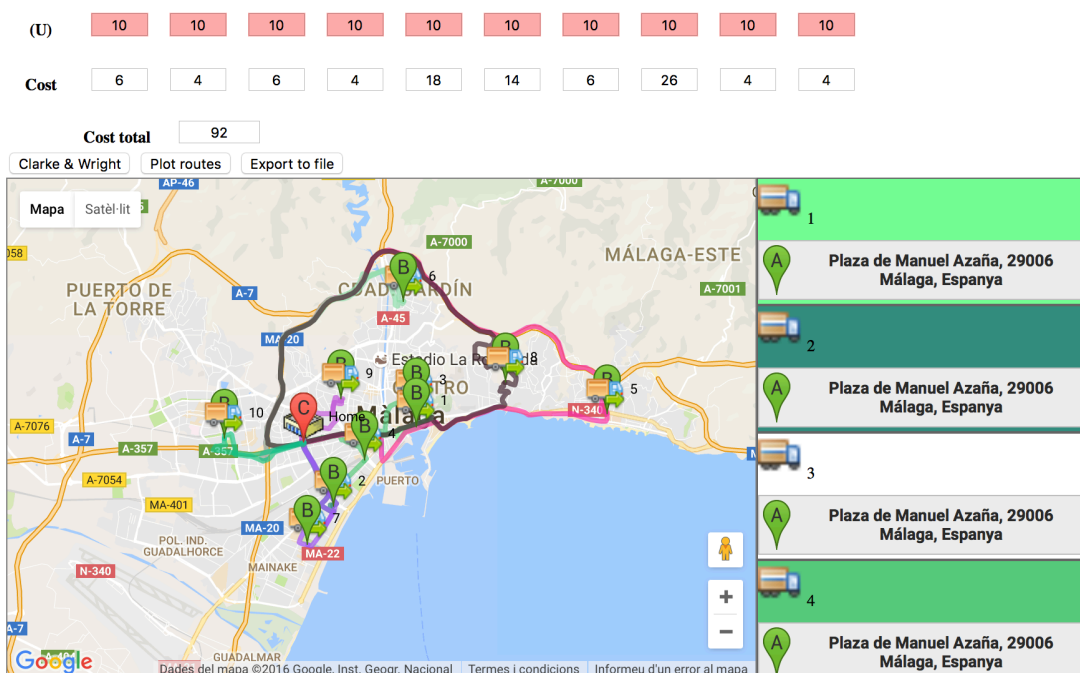


Fig. 6.6. Recorregut dels vehicles pel graf de Màlaga. Font: Autor - CQUID (UPF)

Cal reiterar que la flota de vehicles requerida per a repartir de manera eficaç és inferior a l'existent en el batalló regional de la UME. Per tant, es podria disposar de tots els vehicles necessaris des del primer moment de la catàstrofe i atendre a la població sense haver d'esperar a rebre el suport d'altres batallons o institucions.

Al mateix temps, és necessari saber els kilòmetres recorreguts pels vehicles pesants per connectar els nodes determinats en el graf de la Figura 6.4; node 12: 8km, node 13: 16km, node 14: 10km, node 15: 260km, node 16: 112km. Al transportar cada camió 10 tones i necessitar-ne 100, es requereixen 10 vehicles pesants (2 per node proveïdor) i el doble de casa distància, fent un total de 812km.

La taula següent resumeix els valors del pla logístic:

Vehicles	Nombre	Distància (km)
Lleugers	30	276
Pesants	10	812

Taula 6.1. Vehicles i recorreguts implicats. Font: Autor

7. Cas 3: Epicentre a Algèria amb afectació a Múrcia i Alacant

7.1 Introducció del cas

En cas de produir-se un tsunami a la costa mediterrània, els experts recalquen que els punts vulnerables són Màlaga, Almeria, Murcia i les Balears per la proximitat a la zona tsunamigènica d'Algèria i el Marroc.

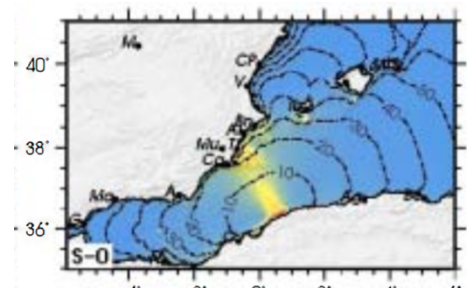
No obstant això, el novembre de 2015 es desallotgen un seguit de platges de la Costa Blanca per la detecció d'un tsunami provinent del Mar Egeu. L'onada, de dimensions reduïdes (un metre d'alçada), no posa perill per a la població al final però crea el precedent d'evacuar per primer cop aquelles costes.

Així doncs, és necessari preveure també la metodologia operacional a seguir en el territori murcià (i per extensió a Alacant per la proximitat) en cas de tsunami.

7.2 Descripció del cas

En aquest cas es considera que es produeix la situació següent :

- Sisme de magnitud 7 davant la costa del Marroc.
- Tsunami resultant de 2 metres.
- Temps d'arribada a la costa murciana i Alacant: 25 minuts.



Com en els casos anteriors, en detectar-se l'onada s'activaria la fase d'alerta de la *Planificació de Protecció Civil ante el Riesgo de Maremotos*, amb la subfase d'alerta a les autoritats.

Els mareògrafs del *Organismo Público de Puertos del Estado* desmentirien l'alerta o proporcionen actualitzacions sobre l'aproximació de la onada.

Si es confirma, s'activa la subfase d'alerta a la població i es disposa de menys de 25 minuts abans que l'onada arribi a la Costa del Sol.

Un tsunami de 2 metres no és negligible ja que inundaria nombroses localitats de Múrcia, causant desperfectes importants [4].

Segons els experts del Laboratori de Climatologia de la Universitat d'Alacant i l'Institut Nàutic Pesquer, un tsunami d'un metre en vertical hauria inundat fins a 100 metres terra endins. Així a Benidorm superaria el *Paseo de Levante* o en la Platja del Postiguet (la platja

Fig. 7.1. Simulació d'un tsunami equivalent. Font: TRANSFER

d'Alacant), l'aigua arribaria a la *Plaza del Mar* superant el port i l'estació portuària o a la *Explanada de Alicante*.

No cal dir per tant que una onada com la del cas, de 2 metres, inundaria el centre de la ciutat, afectant fortament la línia costera i malmetent les comunicacions marítimes.

Cal afegir que segons l'*Instituto Geológico y Minero de España* tota la costa de Múrcia és altament vulnerable a les inundacions per l'alta presència d'activitats econòmiques i construccions costeres [34]. Menciona en especial la platja que es troba al sud del port de *San Pedro del Pinatar*. Afirmar que és un polvorí altament inundable. La seva estructura també fan d'ella una zona molt complicada d'evacuar. Així en cas d'emergència aquest punt s'hauria de reforçar considerablement.

- *Previsió i planificació*

La comunitat de Múrcia compta amb un seguit de plans elaborats amb consonància del *Servicio de Protección Civil* de la comunitat [1]. Entre ells, pel projecte present, es relacionen els següents: *PLATEMUR (2002) Plan Territorial de Protección Civil de la Región de Murcia. Plan Sectorial de Evacuación, Albergue y Abastecimiento de la Región de Murcia (2002). SISMIMUR (2006) Plan Especial de Protección Civil ante el Riesgo Sísmico en la Región de Murcia. PEMU Plan Municipal de los municipios de la Región de Murcia*.

Prenent l'INUNMUR (2007), consistent en el *Plan Especial de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones en la Región de Murcia*, es pot estudiar Múrcia en front a les inundacions.

La comunitat, per concentrar esforços i evitar duplicitats, estableix convenis amb altres entitats com empreses, administracions i entitats públiques o privades. Els més rellevants en cas de tsunami són els existents amb el Govern central i el Ministeri de Defensa, el Pla COPLA entre els ajuntaments costers, el conveni amb la Creu Roja i el conveni entre comunitats i ajuntaments.

- *Intervenció*

La Comunitat de Múrcia disposa d'un Centre de Coordinació d'Emergències que gestiona la Plataforma d'Atenció de Trucades 112, per coordinar els efectius de resposta. Es troben coordinats aquí els ajuntaments de la regió, la Policia Nacional, els Bombers, ADIF, UME i SASEMAR.

En el cas del terratrèmol de Lorca, es va activar la situació 2 d'emergència del SISMIMUR. No obstant, en cas de tsunami, no hi ha protocol vigent. En tal cas, en veure necessària l'activació del *Plan Estatal*, la comunitat de Múrcia activaria el nivell d'emergència 2 regional per a extensivament implicar l'1 estatal. Així es comptaria ara amb els mitjans i recursos fora del pla autonòmic d'emergències.

El comitè de direcció que gestionaria l'emergència seria el conseller de Justícia i Seguretat Ciutadana en representació de l'Administració Autònoma i el delegat del Govern, representant l'Administració de l'Estat.

Es tindria, doncs, una estructura de direcció similar a la del SISMIMUR: amb la petició de la Comunitat a la Delegació del Govern Regional, la UME s'activa normalment en qüestió d'hores per a donar suport en les tasques de cerca i rescat, avaluació de danys y ajuda als damnificats.

S'establiria un *Puesto de Mando Avanzado* (PMA), el qual es suggereix que sigui a Cartagena per la seva situació geogràfica en la zona afectada, en un punt d'interior del terme municipal. Des del PMA es coordinen els Grups d'Acció, el de Bombers, el de rescat i el de control d'edificis.

Els bombers involucrats serien per defecte els del Consorci de Múrcia, Almeria i Llevant, i es podrien veure reforçats per als d'altres regions i localitats si es considera necessari, com els de l'ajuntament de Murcia. I com en el cas de Lorca, per exemple, el Consorci de Bombers d'Espanya previsiblement oferiria la seva ajuda amb efectius provinents de Barcelona, Bilbao, Huelva, Córdoba, etc. En aquell cas van intervenir 726 bombers del Consorci d'un total de 949. En el present cas del tsunami, per l'afectació de més municipis, seria de preveure un reforç d'uns 500 efectius de la resta de l'Estat.

Cada ajuntament afectat distribuïria unitats pel municipi per avaluar l'afectació, i al mateix temps es reforçaria amb personal la unitat 112 de la regió. Els serveis d'emergències municipals revisarien les estructures afectades.

Prenent una altra vegada el cas de Lorca, la UME va intervenir amb 590 efectius, 7 autobombes, 3 grues, 3 mini màquines i 3 retroexcavadores en els treballs de rescat i neteja.

Posteriorment s'establirien brigades per a gestiona la rehabilitació de les estructures afectades, coordinades pel *Centro de Coordinación de Valoración de Daños y análisis de Necesidades* (CEDAN). Així es distribuïrien per les zones afectades brigades de neteja i altres d'avaluació. En el cas de Lorca van ser un total de 200 professionals i voluntaris, enginyers i aparelladors, que van gestionar el diagnòstic i posada a punt de la zona.

Al mateix temps, des del *Centro de Coordinación Integrado* (CECOPI), es demanaria l'estudi de l'estat de infraestructures viàries i hidràuliques, amb d'altres com les elèctriques, el gas i l'aigua. Finalment es demanaria també l'estat dels centres de salut i llars d'avis.

Es demanaria a la companyia distribuïdora de gas de cada municipi de tancar les claus del subministrament de gas natural en la zona per evitar riscos. Es demanaria també la instal·lació provisional de repetidors a les diferents operadores de telefonia mòbil en cas d'afectació, i s'evacuaria els centres hospitalaris afectats com a mesura preventiva.

En el cas de Lorca per exemple, va caldre evacuar l'Hospital Rafael Méndez i residències de la tercera edat.

7.3 Pla d'actuació logística

En cas de la ciutat de Cartagena (216.451 habitants el 2014) , seria necessari distribuir unes 50 tones en ajuts humanitaris.

En cas d'emergències, la logística juga un paper crucial. Cal coordinar de manera efectiva la cadena logística en la zona afectada. S'ha de determinar el material necessari per a respondre a l'emergència i la manera de fer-lo arribar amb eficàcia fins la ubicació adequada. Els articles s'han de fer arribar de manera ràpida i coordinada garantint les condicions mínimes als receptors. Les ERUs (Emergency Response Unit) de logística són les primeres a ser desplegades per a rebre el material de les altres i gestionar el funcionament general.

El control logístic de l'emergència correspondria a les conselleries de Protecció Civil i Sanitat, amb el suport de voluntaris i de la *Dirección General de Seguridad Ciudadana y Emergencias*. S'estableixen campaments en els barris més afectats i també un campament principal per a gestionar el gruix d'afectats (situats en els nodes de la xarxa definida més avall).

Per part de la Creu Roja, s'estima l'aportació següent (per la magnitud de la catàstrofe i en comparació a d'altres prèvies):

- 10 ERIE's (Equipos de Respuesta Inmediata en Emergencias) d'allotjament.
- 7 ERIE's d'ajut Psicosocial.
- 3 ERIE's de Coordinació i Comunicació.
- Activació del conveni Carrefour per a 15.000 persones.

Es requeriria la implicació d'aproximadament 30 ambulàncies de la Creu Roja i 7 hospitals de campanya. Així mateix, la Creu Roja mobilitzaria tots els ERIE's i 5 centres d'atenció. Així donaria suport als afectats amb atenció sanitària, aliments i aigua, mantes i kits infantils. Finalment la Fundació Carrefour corresponent al conveni amb la Creu Roja distribuiria aliments i aigua per a 15.000 persones (105.000 kg d'aliments).

Tanmateix, el dispositiu d'allotjament de les *Fuerzas Armadas* estimat pel cas (durant els 15 dies posteriors al succés): 100 tendes d'acampar modulars, 850 llits, 1200 mantes, 5 grups electrògens, 5 torres d'il·luminació, 8.000 racions d'intervenció d'emergències, 1.500 litres d'aigua embotellada, 4 contenidors d'ablució (WC) i 4 contenidors isoterms.

Pel que fa la UME i la localització de l'emergència, el batalló encarregat de donar resposta seria el Tercer Batalló d'Intervenció en Emergències (BIEM III) situat a les instal·lacions de la UME a la Base Militar Jaume I, a Bétera (València). També compta amb equips especialitzats en rescat subaquàtic i en busca i rescat urbà.



Fig. 7.2. Zona operativa i recursos del batalló regional de la UME. Font: UME

Un campament de capacitat per a 500 persones necessita 11 VEMPAR de remolc i una gòndola per a ser transportats. Compten també amb 8 contenidors d'ablució, 2 contenidors dutxa, 2 contenidors cuina, una fosa sèptica i 2 dipòsits d'aigua flexibles. Es completaria l'allotjament amb 4 campaments per a damnificats ADAM, que requereixen 3 VEMPAR per campament, fent un total de 12, una grua i portapalets. Passada una setmana del desastre, s'haurien d'unificar tots els campaments en un de sol. Previsiblement, aquest hauria de tenir una capacitat de 2.000 llits. Els camions disponibles pel transport són els que disposa la UME en el seu conjunt dels seus batallons (veure apartat 5.3). En total hi hauria disponibles 104 camions pesants i 193 vehicles lleugers.

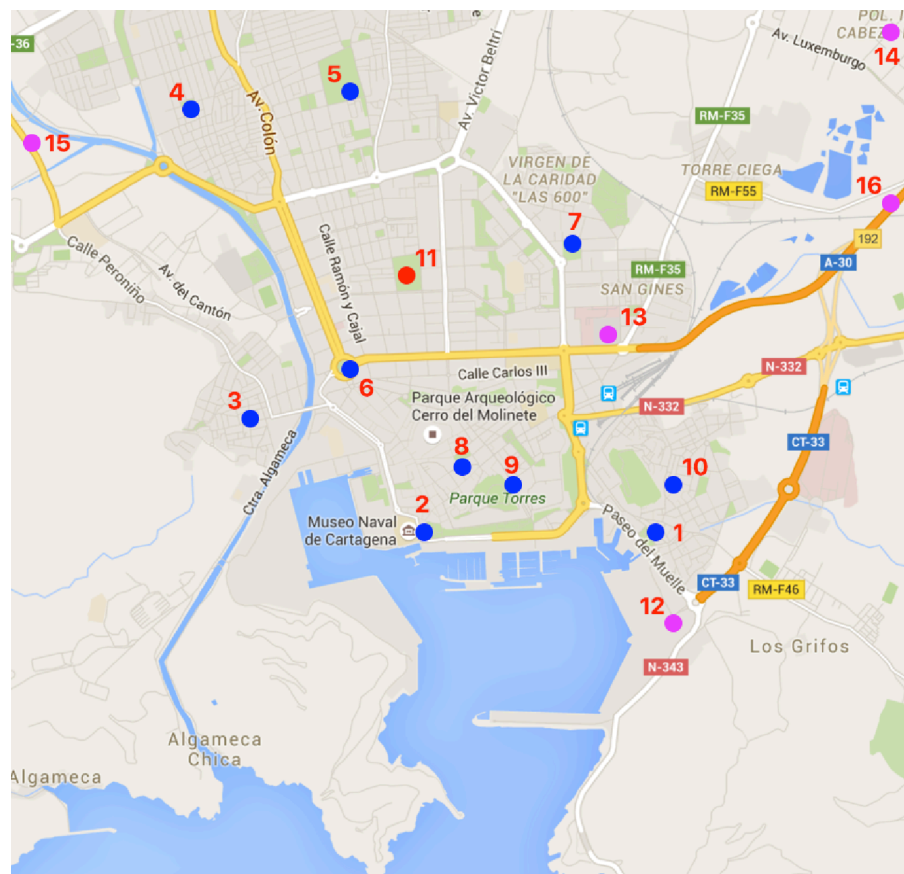


Fig. 7.3. Graf pel cas de Cartagena. Font: Autor - Google

A continuació es pot trobar la llista detallada dels 16 nodes de la matriu que es veuen en el mapa anterior:

Node 1 (receptor): Plaza de la Constitución, node 2 (receptor): Plaza de los Héroes de Cavite, node 3 (receptor): Hermanitas de los Pobres, node 4 (receptor): Plaza Doña Juana la Loca, node 5 (receptor): Parque de la Rosa, node 6 (receptor): Plaza de España, node 7 (receptor): Parque de San Gines, node 8 (receptor): Plaza de San Francisco, node 9 (receptor): Paseo Alfonso XIII, node 10 (receptor): Plaza Mayor, node 11 (intermedi): Parque de los Juncos, node 12 (proveïdor): Puerto de Cartagena, node 13 (proveïdor): Carrefour Alfonso XIII, node 14 (proveïdor): Carrefour Parque Mediterráneo, node 15 (proveïdor): Font Oest (RM-332), node 16 (proveïdor): Font Est (A-30).

A continuació les figures 7.3.3 i 7.3.4 plasmen els itineraris de distribució per a cada un dels nodes en el conjunt de la xarxa. Al tenir una demanda de 5 tones per node i vehicles capaços de transportar 4 tones, es requeririen 2 vehicles proveïnt cada node i transportant en cada viatge 2,5 tones de béns com a mínim. En cas de disposar d'ajuda extra es podria carregar cada camió fins al màxim de la seva capacitat, les 4 tones.

Com es pot veure en el conjunt de la xarxa els punts de distribució cobreixen tota la població però es concentren especialment a la línia de costa. Això és degut, òbviament, a que les zones costaneres serien les més damnificades pel tsunami. Els nodes interiors també requeririen ajuda ja que la ciutat es veuria afectada en el seu conjunt. Lluny de la línia de costa, de manera indirecta, però tot i així es requeriria donar suport a la població.

A continuació es presenta la taula del graf amb les distàncies entre nodes (en km):






















Customer										
Demand (U)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Depot (0)										
	0	2	3	4	3	2	2	1	1	0
		0	2	5	4	2	2	2	1	2
			0	2	2	0	2	1	2	3
				0	2	2	3	3	5	5
					0	1	2	2	3	4
						0	2	1	2	3
							0	1	2	3
								0	0	2
									0	2
										0

Fig. 7.4. Taula del graf per a la ciutat de Cartagena. Font: Autor - CQUID (UPF)

En la imatge següent es poden veure els itineraris per als nodes arreu de la ciutat i una estimació del cost (recorregut en kilòmetres).

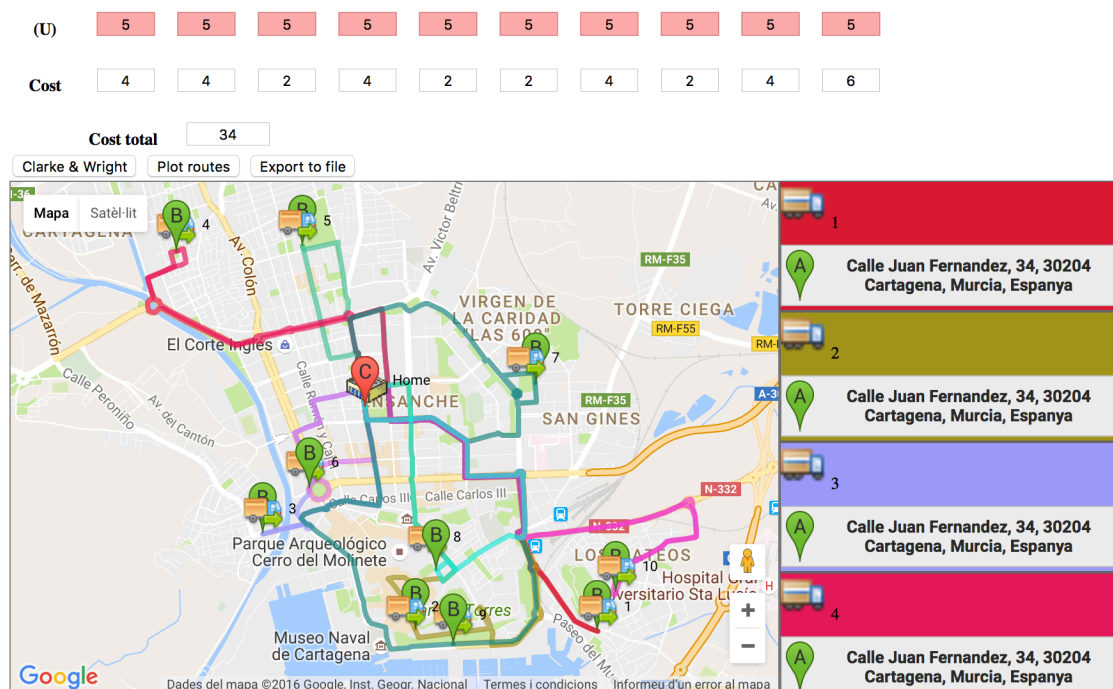


Fig. 7.5. Encaminament per a la ciutat de Cartagena. Font: Autor - CQUID (UPF)

Amb aquest model de distribució, s'aconsegueix cobrir totes les grans zones de la ciutat i la totalitat dels habitants tindria un punt d'ajuda relativament a prop.

Es pot concloure, doncs, que es requereixen 20 vehicles lleugers per a proveir a tots els nodes sol·licitants i els vehicles pesant que hi hagi disponibles per a portar els béns dels punts proveïdors als intermedis. La UME ja disposaria dels vehicles necessaris en el batalló corresponent, però de totes maneres es podria preveure que si fos necessari hi hauria la col·laboració de vehicles que pertanyen a altres batallons o altres cossos de l'Estat.

Pel que fa als vehicles pesants, connectarien els nodes proveïdors amb l'intermedi i recorrerien aproximadament; node 12: 7 km, node 13: 6 km, node 14: 14 km, node 15: 100 km, node 16: 100 km. Al transportar cada camió 10 tones i necessitar-ne 50, es requereixen 5 vehicles pesants, amb un total de 227 kilòmetres recorreguts.

El recull següent presenta els valors del pla logístic:

Vehicles	Nombre	Distància (km)
Lleugers	20	68
Pesants	5	227
Total	25	295

Taula 7.1. Recull de l'operatiu en vehicles i recorregut. Font: Autor

8. Cas 4: Epicentre a Algèria amb afectació a les Balears

8.1 Introducció del cas

El 21 de maig de l'any 2003 una onada de 2 metres d'altura arriba a la costa de les Balears provocant l'enfonsament de més de 70 embarcacions. Aquest cas recent, com d'altres, fa patent el risc real de tsunami a les costes de les Illes, degut sobretot a ser veïnes de les zones altament tsunamigèniques de Tunísia i Algèria, com afirma Stéfano Tinti, coordinador del projecte TRANSFER per a la investigació de tsunamis en el mar Mediterrani [35].

Així es reitera a la reunió de la UNESCO celebrada a la Universitat de Cantàbria que una catàstrofe equivalent a la d'Indonèsia és possible a les Balears. Així Mauricio Gonzalez, de la Universitat de Cantàbria, destacava en aquella conferència del que feien falta "protocols d'emergència també en l'esfera local per a poder respondre a una catàstrofe que pot passar avui o demà" [35].

Cal destacar no obstant que és més probable que un tsunami es produeixi a la costa mediterrània de l'Estat espanyol però de menys gravetat que els que es poden produir a la costa atlàntica. Això és degut a que les falles davant la costa d'Algèria són més petites que les del Banc de Gorringe.

Així, segons l'estudi de la Universitat de Cantàbria, les Balears es podrien veure afectades per un tsunami de més de 2 metres [5].

8.2 Descripció del cas

En el present estudi, es considera doncs que es produeix el següent cas:

- Sisme de magnitud 7,5 a la costa d'Algèria
- Tsunami resultant de 3 metres
- Temps d'arribada a la costa de les Balears: 50 minuts

A continuació, segueix un treball de recerca de com s'hauria de gestionar operativament i logística aquesta situació.

En cas de confirmar-se l'onada, es disposaria de menys de 50 minuts abans que l'onada arribi a la costa. S'activa llavors la subfase d'alerta a la població.



Fig. 8.1. Simulació d'un tsunami equivalent. Font: TRANSFER

Estudis recents [1] mostren que amb un tsunami de 3 metres ja s'inundarien nombroses localitats de les Balears, causant grans desperfectes.

D'aquesta manera, el tsunami en estudi arribaria a la costa de les Balears i els fenòmens de ressonància que es produeixen en els ports afecten extensament les embarcacions al mateix temps que a les infraestructures portuàries. Així doncs, afectaria especialment al port de la badia de Palma, el de Maó a Menorca, Eivissa i la zona nord-est de l'illa d'Eivissa i finalment la platja de migjorn a Formentera per la seva ubicació [5].

Aquest fet ha de ser tingut en compte al fer arribar ajuda marítima a les Illes.

Com es pot veure a la figura 8.2, la zona de Palma és la que concentra més població i per tant hauria de focalitzar una part important del suport post-catàstrofe.

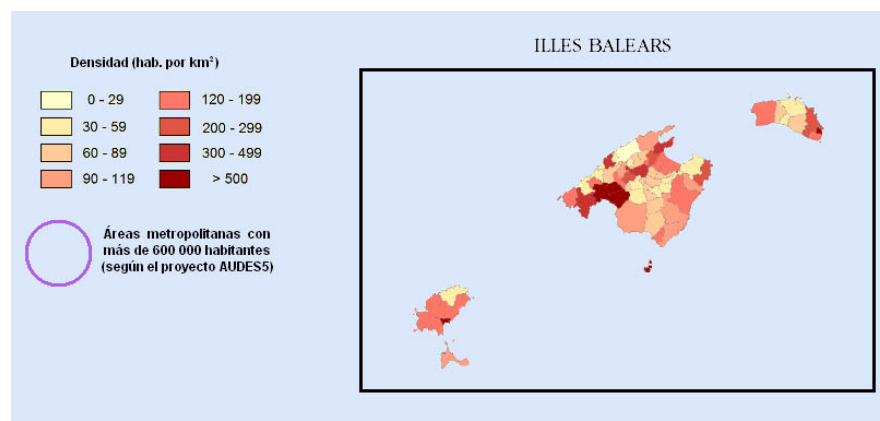


Fig. 8.2. Densitat de població a la zona d'estudi. Font: *Ministerio del Interior*

8.3 Pla d'actuació logística

El pla d'actuació logística del cas estudiat en la ciutat de Palma de Mallorca (399.093 habitants el 2014) hauria de preveure l'ajut a la població amb unes 75 tones.

Com en casos anteriors, s'ha de tenir en compte el fet que l'afectació d'una onada massiva dependrà de l'època de l'any en què es produeixi. Així, un tsunami al més d'agost seria més costós a nivell humà que un altre que succeís al gener.

Pel que fa la UME i la localització de l'emergència, el batalló encarregat de donar resposta seria el Tercer Batalló d'Intervenció en Emergències (BIEM III). Al tractar-se del mateix batalló que gestionaria el cas anterior, es prega que en cas de voler més informació sobre aquest es consulti l'apartat 7.3.

La xarxa de distribució logística hauria de ser estructurada per a cobrir el conjunt de les zones afectades i proporcionar ajut al conjunt de la població. La figura 8.3 plasma la xarxa de punts estratègics a on situar la distribució de l'ajuda en funció de les fonts de distribució existents per a la ciutat de Palma. Aquesta xarxa també inclou els punts intermedis que facilitarien la connexió i flux d'ajuda entre les fonts i els punts de distribució.

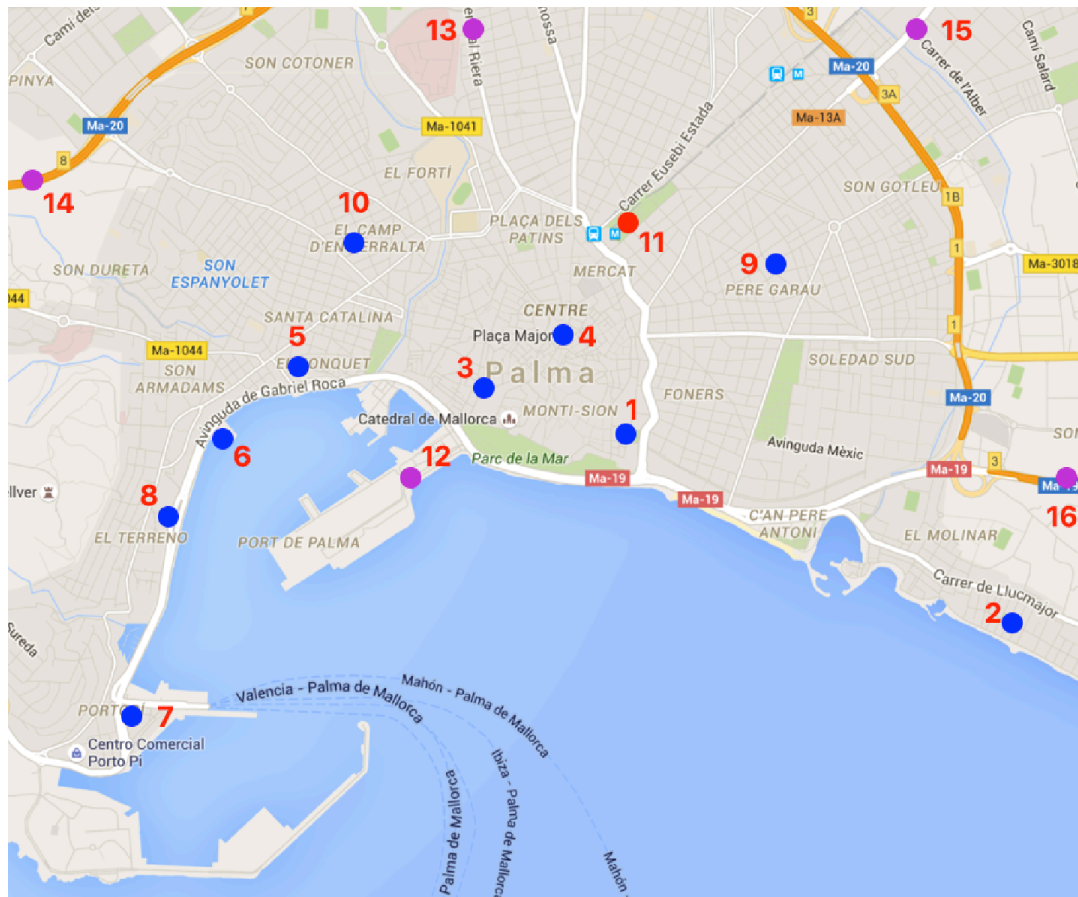


Fig. 8.3. Mapa indicatiu dels nodes a Palma de Mallorca. Font: Autor - Google

A continuació es pot trobar la llista detallada dels 20 nodes de la matriu que es veuen en el mapa anterior:

Node 1 (receptor): Plaça de la Porta del Camp, node 2 (receptor): Plaça Carrer Bernat Visca, node 3 (receptor): Plaça de la Reina, node 4 (receptor): Plaça Major, node 5 (receptor): Plaça de la Verge del Miracle, node 6 (receptor): Moll de les Golondrines, node 7 (receptor): Porto Pi, node 8 (receptor): Plaça Mediterrània, node 9 (receptor): Plaça Pere Garau, node 10 (receptor): Plaça de Serralta, node 11 (intermedi): Parc de les Estacions, node 12 (proveïdor): Port de Palma, node 13 (proveïdor): Carrefour Palma, node 14 (proveïdor): Font Oest (Ma-20), node 15 (proveïdor): Aeroport de Son Bonet, node 16 (proveïdor): Aeroport de Palma.

La unitat del tercer batalló de la UME està basat prop de València però existeixen també 2 destacaments del batalló a les Balears, un a Palma i l'altre a Maó.

Així doncs, per a dur a terme el pla de distribució i comptar amb la totalitat dels vehicles requerits per a l'operació, s'hauria d'esperar el gruix de vehicles provinent de València.

Seguint els protocols, un cop es considerés que la catàstrofe requerís la intervenció de més efectius, els camions i la resta de suport del batalló es farien arribar el més ràpid possible des de la Península, incloent suport d'altres batallons si es considera necessari.

S'haurien de repartir unes 75 tones d'ajuda humanitària aproximadament. Si es divideix equitativament aquesta quantitat entre els 10 nodes sol·licitants, significa que s'ha de proveir cada node amb 7,5 tones de béns. Tenint en compte, com ens els casos anteriors, que el repartiment dintre la ciutat es faria amb vehicles lleugers de 4 tones de capacitat, es requeririen 2 vehicles per repartir quan abans millor la totalitat de l'ajuda.

A continuació es pot trobar la xarxa de nodes i el camí que seguiran els vehicles per a distribuir ajuda al conjunt de nodes i les rutes a seguir.

Customer										
Demand (U)	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Depot (0)		2	7	2	2	3	3	5	3	2
	0	2	1	1	2	2	4	3	1	2
		0	3	3	4	4	6	5	4	5
			0	2	2	2	4	2	3	1
				0	4	4	6	4	2	2
					0	1	2	1	3	1
						0	1	0	5	2
							0	1	6	4
								0	5	2
									0	3
										0

Fig. 8.4. Taula recull de graf amb les distàncies entre nodes. Font: Autor - CQUID (UPF)

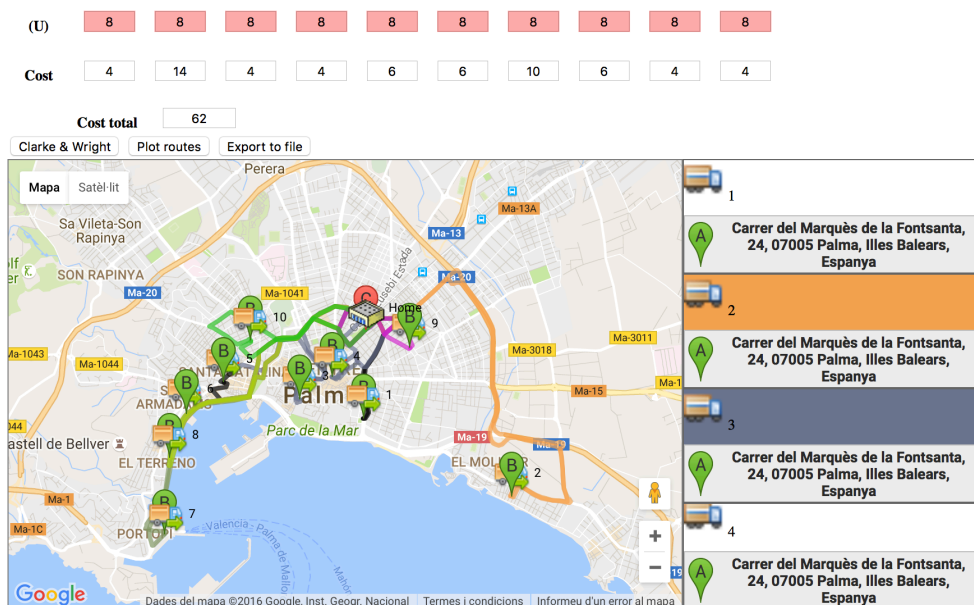


Fig. 8.4. Mapa de distribució a Palma de Mallorca. Font: Autor - CQUID (UPF)

Com s'ha esmentat amb anterioritat, tot i que la part interior de la ciutat és menys probable que es vegi greument afectada, cal preveure igualment un suport mínim a la població. En un context de crisi, el conjunt de la població viuria talls d'aigua, electricitat i manca de productes bàsics. Així doncs, es garanteix un mínim suport al conjunt dels habitants de la ciutat.

El nombre total de vehicles requerits per a la repartició seria de 20 vehicles lleugers per a connectar els nodes intermedis amb els sol·licitants i el nombre disponible de vehicles pesants per a connectar els punts proveïdors amb els intermedis. Això indica que els efectius dels quals disposa el batalló regional podrien cobrir la distribució, però segurament hi hauria col·laboració per part d'altres efectius de la UME. Els camions lleugers recorrerien un total aproximat de 124 kilòmetres.

Pel que fa als vehicles pesants, connectarien els nodes proveïdors amb l'intermedi i recorrerien aproximadament: Node 12: 8 km, node 13: 7 km, node 14: 34 km, node 15: 20 km, node 16: 22 km. Al transportar cada camió 10 tones i necessitar-ne 75, es requereixen 8 vehicles pesants, fent un total de 91 kilòmetres recorreguts.

La taula següent resumeix els valors del pla logístic:

Vehicles	Nombre	Distància (km)
Lleugers	20	124
Pesants	8	91

Taula 8.1. Recursos i el seu ús per l'operatiu logístic. Font: Autor

9. Dimensionament de l'afectació i flux de ferits

En aquest capítol es defineix què s'entén per resposta a la catàstrofe provocada pel tsunami, ja sigui a nivell logístic de distribució d'ajuda humanitària o la definició dels centres sanitaris a on prioritzar el transport dels ferits.

En l'estudi de la resposta a realitzar per a cada un dels casos del treball es consideren dos pols principals: el flux de ferits fins als centres d'atenció sanitària adequats i la distribució de l'ajuda humanitària en les poblacions afectades.

La INSEAD (*Institut Européen d'Administration des Affaires* o Institut Europeu d'Administració de Negocis) enumera 9 factors crucials en quan a resposta logística a una emergència humanitària:

1. La planificació i la preparació
2. Assessorament
3. La mobilització de recursos
4. Els ajuts i donacions
5. El transport i l'execució
6. El seguiment
7. La gestió dels estocs
8. L'extensió del punt de lliurament
9. L'ajut als beneficiaris

Focalitzant-nos en el número 5, s'estableix el transport i l'execució com a crucials per a fer arribar l'ajuda quan i a on es necessita.

En els apartats anteriors, s'ha especificat per a cada cas, sempre de manera fonamentada, les zones que presenten més risc per a la població i una estimació del volum total d'ajuda humanitària a repartir entre els ciutadans.

De la mateixa manera, s'ha establert en cada cas 10 punts dintre de la ciutat per a fer arribar l'ajuda de la manera més efectiva possible en funció de les necessitats de cada zona pel cas específic d'un escenari post-tsunami.

Per tant, al parlar de resposta en el sentit logístic del terme, o com l'INSEAD denomina "transport i execució", cal trobar ara el model més adequat per a fer arribar l'ajuda que s'estima necessària als punts determinats per a abastir al conjunt dels damnificats. Això es desenvolupa en el capítol següent.

Ara es tracta una segona part del que s'entén per resposta a la catàstrofe: el tractament dels ferits. A continuació segueix una llista exhaustiva, per a cada cas, dels centres hospitalaris principals a on destinar el flux de ferits en cada zona. Es consideren prioritaris els centres més ben equipats, que no es vegin afectats directament per el tsunami i que preferiblement siguin de caràcter públic.

L'expresident a Espanya de l'Associació Internacional de Directors d'Emergència (IAEM), José Antonio Aparicio, demandava un protocol per saber on traslladar els ferits, on s'havia de refugiar la població i quins edificis serien segurs [17].

Pel que fa a l'atenció de ferits, cal fer un breu estudi de les clíniques i hospitals existents i la vulnerabilitat que presenten davant tsunamis.

A l'hora de estimar l'atenció als ferits i el seu transport als centres mèdics corresponents, cal saber aproximadament quin número de persones s'hauria de transportar. Òbviament, hi ha múltiples factors que poder fer fluctuar enormement aquesta estimació. Si el tsunami té lloc a l'estiu en comptes de l'hivern, la densitat de població de cada àrea en concret o altres factors aleatoris que poden determinar l'afectació final a nivell humà. Al no existir recerca en aquest sentit, l'autor del projecte pren un enfoc pràctic aprofitant el graf existent de la distribució de l'ajuda. Les estimacions exactes dels ferits es fan partint de l'estudi *The Human Cost of Tsunamis* [32] però com s'ha dit poden estar molt lluny del valor eventual.

Per tal d'evacuar els ferits de la manera més estructurada i eficaç possible, es suggereix que s'utilitzin els punts d'ajut estipulats anteriorment (nodes) per a actuar com a punt d'evacuació de ferits. Així doncs, els camions lleugers de la UME (TT 4 Tm IVECO 7226), es podrien utilitzar també per a transportar 20 persones per viatge cap a l'hospital. Això és possible perquè la UME ja compta amb vehicles suficients per a satisfer la repartició de l'ajuda com s'estableix en els apartats anteriors, i per tant la resta es podria destinar a establir aquestes rutes de transport de ferits. L'adaptació per a transport de persones o de càrrega és fàcil i, per tant, tots aquests vehicles es poden considerar com a versàtils en quant a transport.

En un escenari post-tsunami amb un sistema d'emergències saturat, aquests camions establirien rutes de transport de ferits des dels nodes establerts fins a l'hospital més adequat.

Aquest sistema de gestió de ferits seria probablement l'opció més eficaç per a descongestionar un sistema d'emergències saturat i per a assegurar una ràpida atenció al màxim nombre de ciutadans possible.

A continuació es poden trobar els grafs amb els nodes origen (corresponents als punts de distribució d'ajuda anteriors, més l'intermedi) i el punt destí, estant l'hospital principal de la ciutat o voltants lluny de l'afectació potencial d'un tsunami. Cal saber que aquí s'utilitzen els nodes de l'1 al 11 per a concentrar els ferits d'arreu de la zona afectada i transportar-los de la manera més efectiva a l'hospital adequat, node 12.

Cal mencionar, per tant, que l'evacuació de ferits es faria conjuntament amb el protocol de la Creu Roja. Així doncs, els següents plans operatius per al trasllat de ferits s'han de veure com a complementaris a la resta d'agents encarregats de l'atenció als ferits i del seu trasllat.

9.1 Cas 1: Cadis - Costa de la Llum

L'afectació de les clíniques presents al casc antic de Cadis, com l'*Hospital Puerta del Mar*, requeriria el trasllat del gruix dels ferits de Cadis a l'*Hospital General Santa María del Puerto* o a l'*Hospital General San Carlos*.

- L'*Hospital San Juan Grande*, a Jerez de la Frontera, per la seva proximitat a Cadis i la zona costanera, però suficientment allunyat de la línia d'afectació del tsunami, hauria de ser considerat com a centre neuràlgic d'atenció als ferits.
- L'*Hospital Comarcal Virgen del Camino* cobriria la zona nord, de San Lúcar de Barrameda i Chipiona.
- L'*Hospital Centro Medico de Chiclana* donaria cobertura a l'àrea sud de la costa de Cadis.

Finalment, en el cas de Huelva, el gruix d'hospitals es troba al vessant nord de la població i no es veurien afectats per inundacions i per tant podrien seguir operant. Aquests serien principalment l'*Hospital Juan Ramon Jiménez* i l'*Hospital Infanta Elena*.

Ara segueix un mapa que recull els nodes pel graf de Cadis, sabent que aquí s'utilitzen els nodes de l'1 al 11 per a concentrar els ferits d'arreu de la zona afectada i transportar-los de la manera més efectiva al hospital adequat.

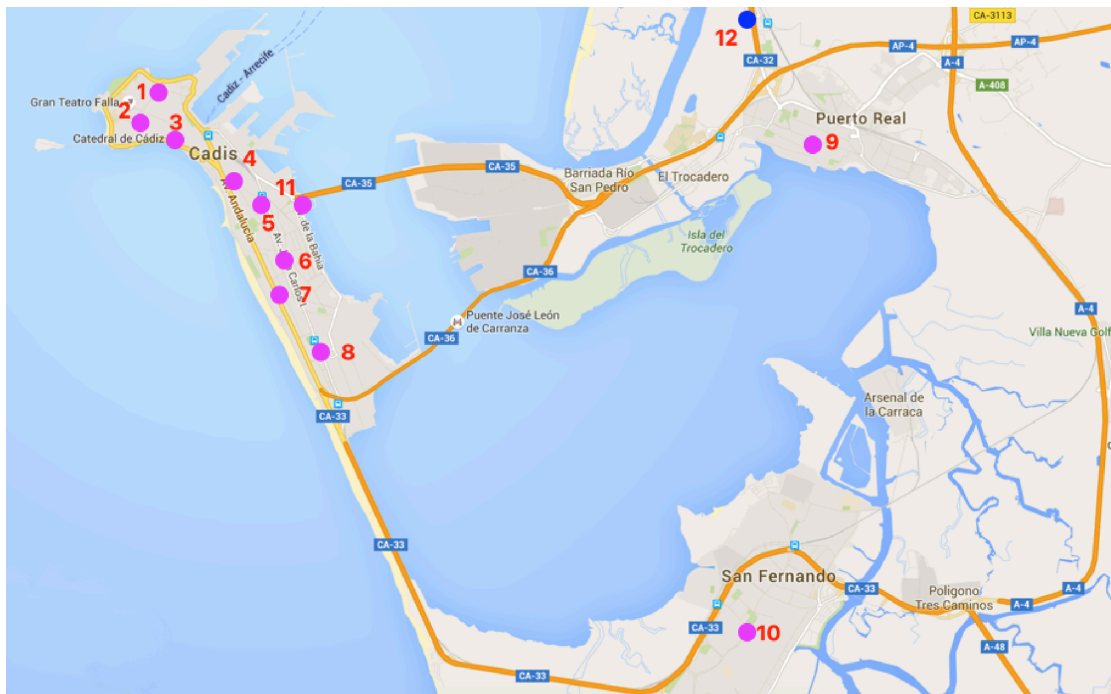


Fig. 9.1. Mapa amb nodes pel transport de ferits a Cadis. Font: Autor - Google

A continuació es pot trobar la llista detallada dels 12 nodes de la matriu que es veuen en el mapa anterior:

Node 1 (proveïdor): Plaça de San Antonio, node 2 (proveïdor): Mercat Central de Abastos, node 3 (proveïdor): Plaça de la Catedral, node 4 (proveïdor): Puerta de Tierra, node 5 (proveïdor): Estació San Severiano, node 6 (proveïdor): Estació Segunda Aguada, node 7 (proveïdor): Hospital Universitari Puerta del Mar, node 8 (proveïdor): Glorieta Zona Franca, node 9 (proveïdor): Ajuntament de Puerto Real, node 10 (proveïdor): Pabellón Parque San Fernando, node 11 (proveïdor): Rotonda Av. De Huelva, node 12 (receptor): Hospital General Santa María del Puerto.

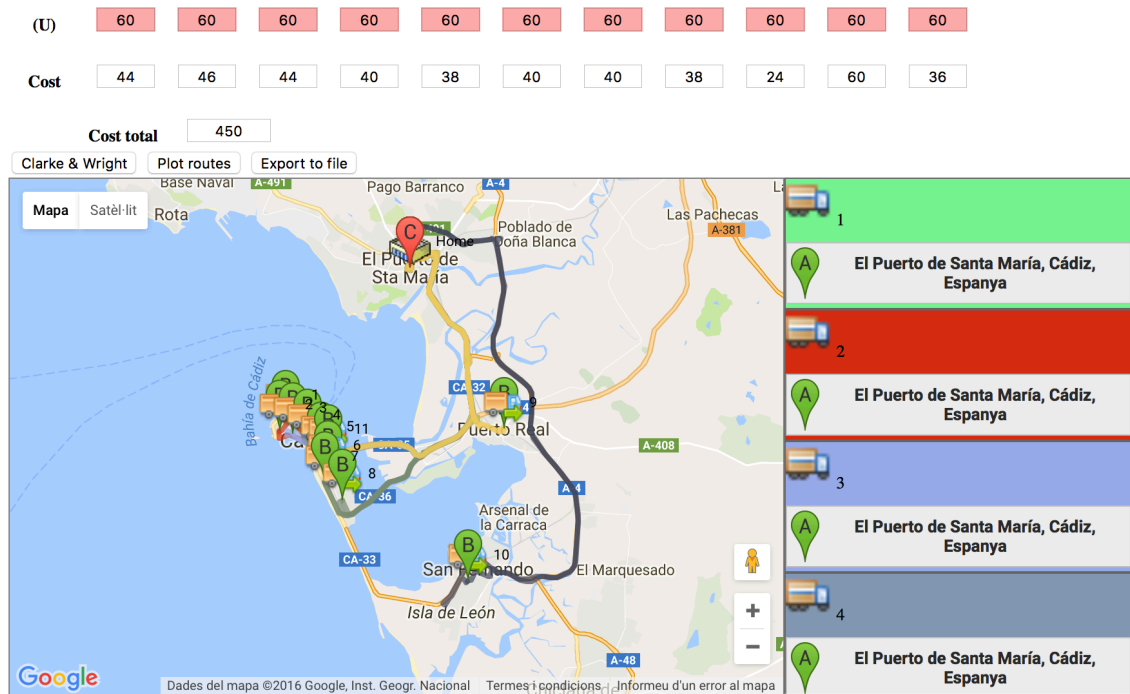


Fig. 9.2. Operatiu de transport dels ferits. Font: Autor - CQUID (UPF)

S'estima un dispositiu per a transportar uns 660 ferits (durant les primeres 24 hores) amb els camions lleuger que tenen capacitat per a 20 persones. Així doncs, i si es preveu un camió lleuger per node proveïdor de ferits (11 en total) es necessitarien 11 camions lleugers fent 3 viatges cadascun i transportant 60 ferits. El conjunt de camions recorreria 1.350 kilòmetres per a realitzar aquest servei.

9.2 Cas 2: Màlaga - Costa del Sol

La Costa del Sol és extensa i densament poblada a primera línia de costa. En cas de tsunami, els ferits s'haurien de traslladar prioritàriament a un seguit de centres no damnificats i pròxims a cada zona.

- Per a la població de Màlaga i voltants, el flux de ferits s'hauria de conduir a l'*Hospital Universitario Virgen de la Victoria*. Altres centres més pròxims a la costa, com l'*Hospital Vithas Parque San Antonio* es veurien directament afectats i s'hauria d'evitar direccionar els afectats a tals centres.
- En la zona oest, pròxima a Marbella, l'*Hospital Costa del Sol* hauria de centralitzar el tractament de ferits de la zona. L'*Hospital Quirónsalud Marbella*, com a segona opció en rellevància, no seria adequat per a rebre afectats degut a la seva vulnerabilitat davant d'un tsunami.
- Finalment, a l'àrea est, el *Complejo Hospitalario Torrecárdenas* tractaria els damnificats d'Almeria i voltants.

Si es requerís suport addicional, els hospitals de Granada (*Hospital Universitario Virgen de las Nieves* i *Hospital Universitario San Cecilio*) serien els centres adequats per a acollir els ferits que no es poden tractar en els centres anteriors. El mapa presentat a continuació presenta els nodes logístics de la ciutat de Màlaga, sabent que aquí s'utilitzen els nodes de l'1 al 11 per a concentrar els ferits d'arreu de la zona afectada i transportar-los de la manera més efectiva al hospital adequat.

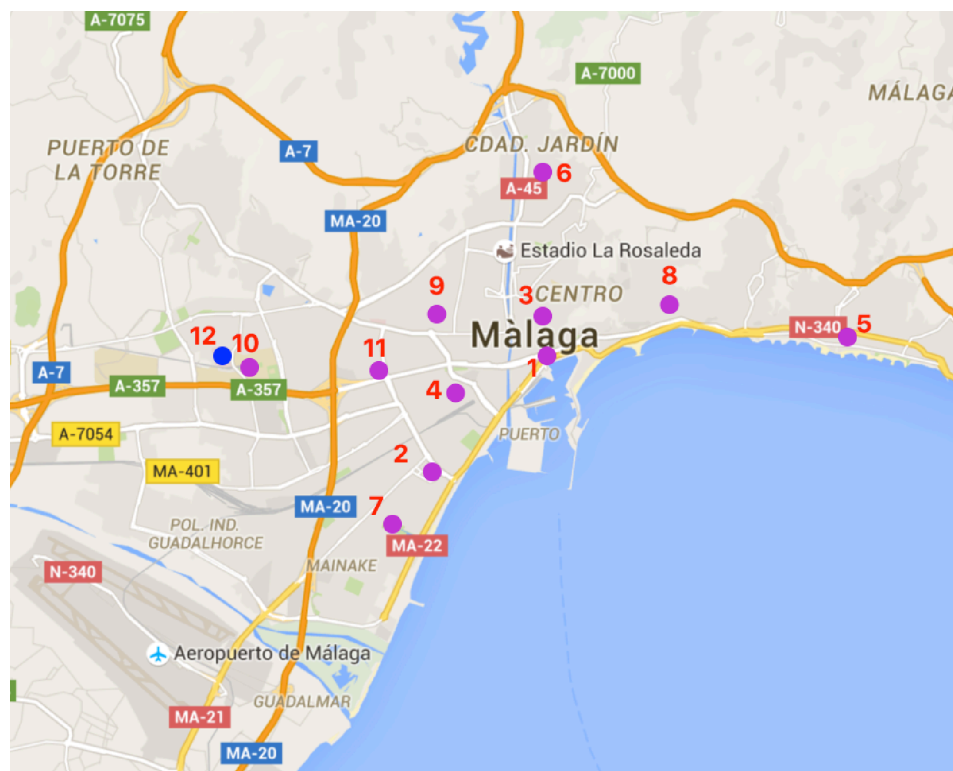


Fig. 9.3. Graf dels nodes pel transport de ferits a Màlaga. Font: Autor - Google

Els ferits de la ciutat de Cartagena i voltants s'haurien de portar preferiblement al *Hospital General Universitario Santa María del Rosell*.

L'*Hospital La Vega* de la ciutat de Múrcia podria acollir als ferits que no poguessin ser tractats en els centres esmentats anteriorment si el volum d'afectats és superior a la capacitat dels centres.

Cal preveure que el tsunami pogués afectar greument altres centres costaners com el *Centro de Salud La Manga Costa Cálida*, i per tant els ferits s'haurien de seguir traslladant als centres ja mencionats.

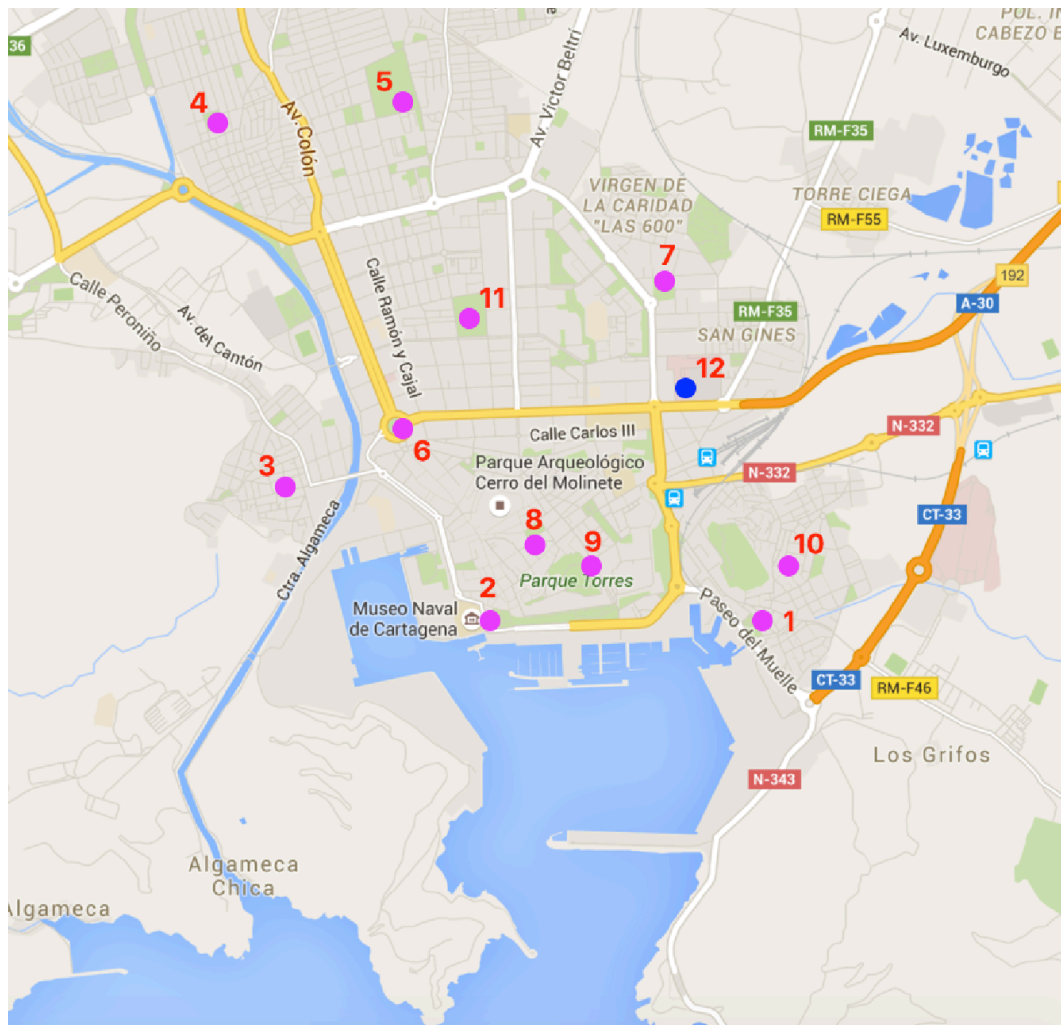


Fig. 9.5. Graf de nodes pel transport dels ferits a Cartagena. Font: Autor - Google

A continuació es pot trobar la llista detallada dels 12 nodes de la matriu que es veuen en el mapa anterior:

Node 1 (proveïdor): Plaza de la Constitución, node 2 (proveïdor): Plaza de los Héroes de Cavite, node 3 (proveïdor): Hermanitas de los Pobres, node 4 (proveïdor): Plaza Doña Juana

la Loca, node 5 (proveïdor): Parque de la Rosa, node 6 (proveïdor): Plaza de España, node 7 (proveïdor): Parque de San Gines, node 8 (proveïdor): Plaza de San Francisco, node 9 (proveïdor): Paseo Alfonso XIII, node 10 (proveïdor): Plaza Mayor, node 11 (proveïdor): Parque de los Juncos, node 12 (receptor): Hospital General Universitario Santa María del Rosell.

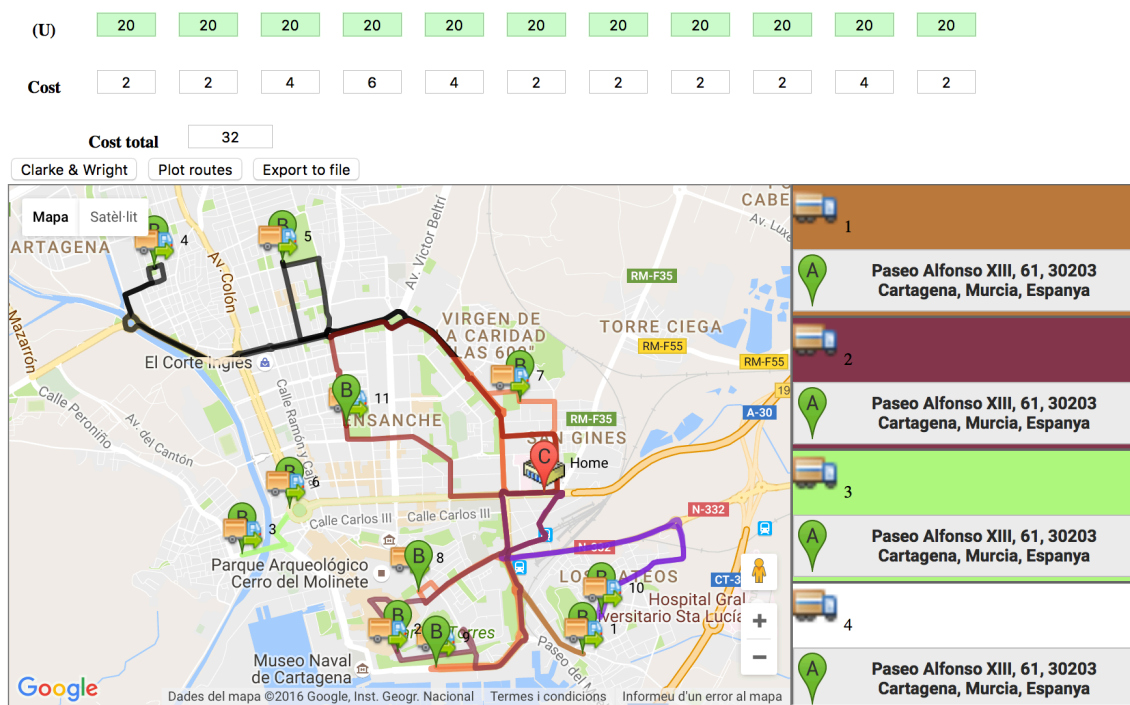


Fig. 9.6. Operatiu de transport dels ferits a Cartagena. Font: Autor - CQUID (UPF)

En el cas de Cartagena es podria preveure un total de 220 ferits a transportar (durant les primeres 24 hores) des de tots els nodes. Això serien en total 11 vehicles lleugers fent el transport fins a l'hospital i recorrent 64 kilòmetres en total.

9.4 Cas 4: Illes Balears

El flux de ferits a les Illes Balears presenta el repte intrínsec de tractar pacients amb les limitacions geogràfiques que suposen illes diferents i separades de la Península Ibèrica.

- Els ferits de la zona pròxima a Palma de Mallorca haurien de ser traslladats a l'Hospital Públic General de Mallorca i a l'Hospital Universitari Son Espases. Aquests, els més importants a les Balears, no es veurien afectats directament per l'onada.
- Els ferits de la zona sud de l'illa s'haurien de traslladar a l'Hospital de Manacor suposant la saturació dels centres sanitaris a Palma.
- A l'illa de Menorca, els ferits de la meitat sud s'haurien de traslladar de manera prioritària a l'Hospital Mateu Orfila. En la meitat nord, es podria optar

alternativament pel Centre de Salut Canal Salat si els ferits no són d'absoluta gravetat.

- L'Hospital Can Misses donaria cobertura a la illa d'Eivissa i l'Hospital Públic de Formentera assistiria als damnificats a l'illa de Formentera.

Les limitacions logístiques i dimensionals dels últims centres esmentats fan que, en cas necessari, es pogués considerar el trasllat de ferits a altres centres més equipats en ciutats com Palma, València o Barcelona.

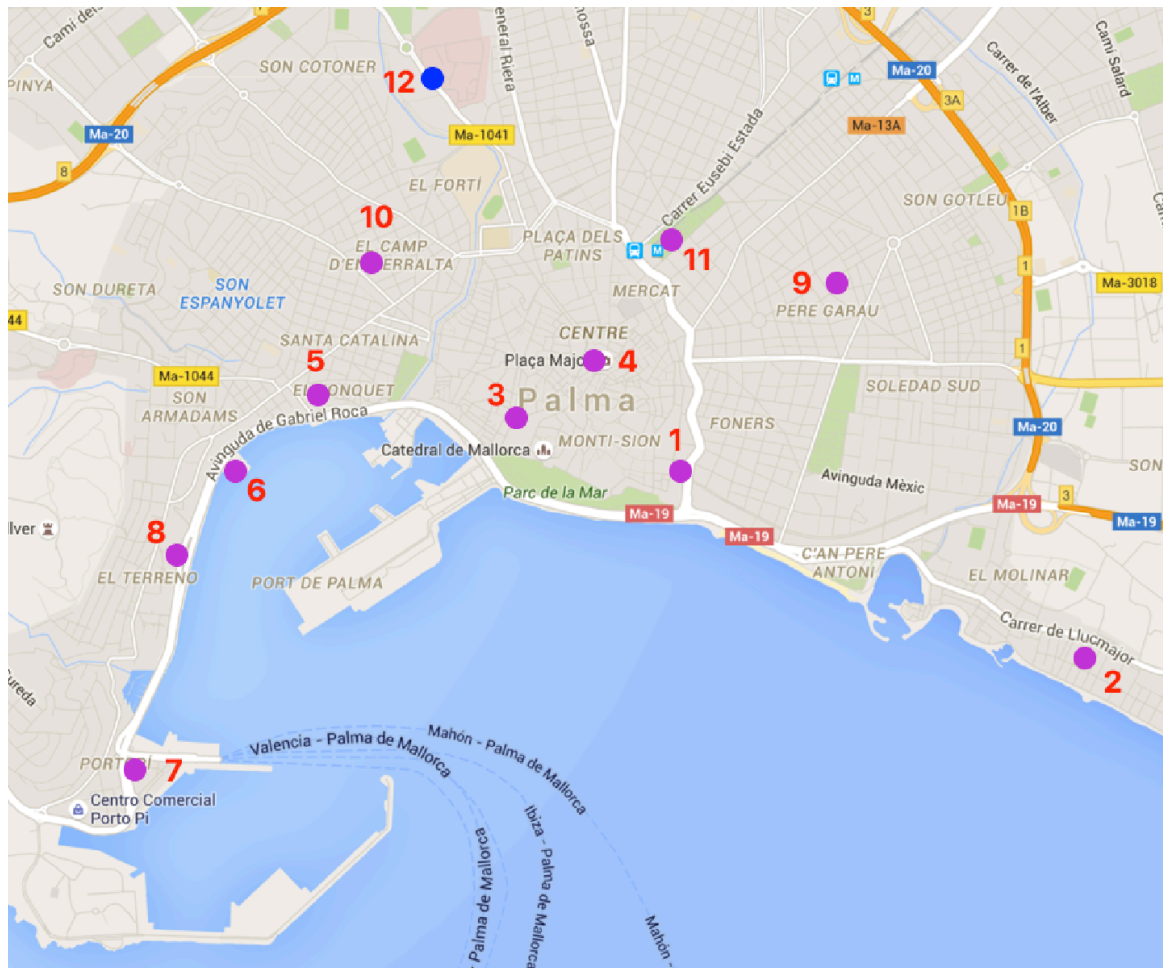


Fig. 9.7. Nodes pel transport dels ferits a Palma de Mallorca. Font: Autor - Google

A continuació es pot trobar la llista detallada dels 12 nodes de la matriu que es veuen en el mapa anterior:

Node 1 (proveïdor): Plaça de la Porta del Camp, node 2 (proveïdor): Plaça Carrer Bernat Visca, node 3 (proveïdor): Plaça de la Reina, node 4 (proveïdor): Plaça Major, node 5 (proveïdor): Plaça de la Verge del Miracle, node 6 (proveïdor): Moll de les Golondrines, node 7 (proveïdor): Porto Pi, node 8 (proveïdor): Plaça Mediterrània, node 9 (proveïdor): Plaça Pere Garau, node 10 (proveïdor): Plaça de Serralta, node 11 (proveïdor): Parc de les Estacions, node 12 (receptor): Hospital Públic General de Mallorca.

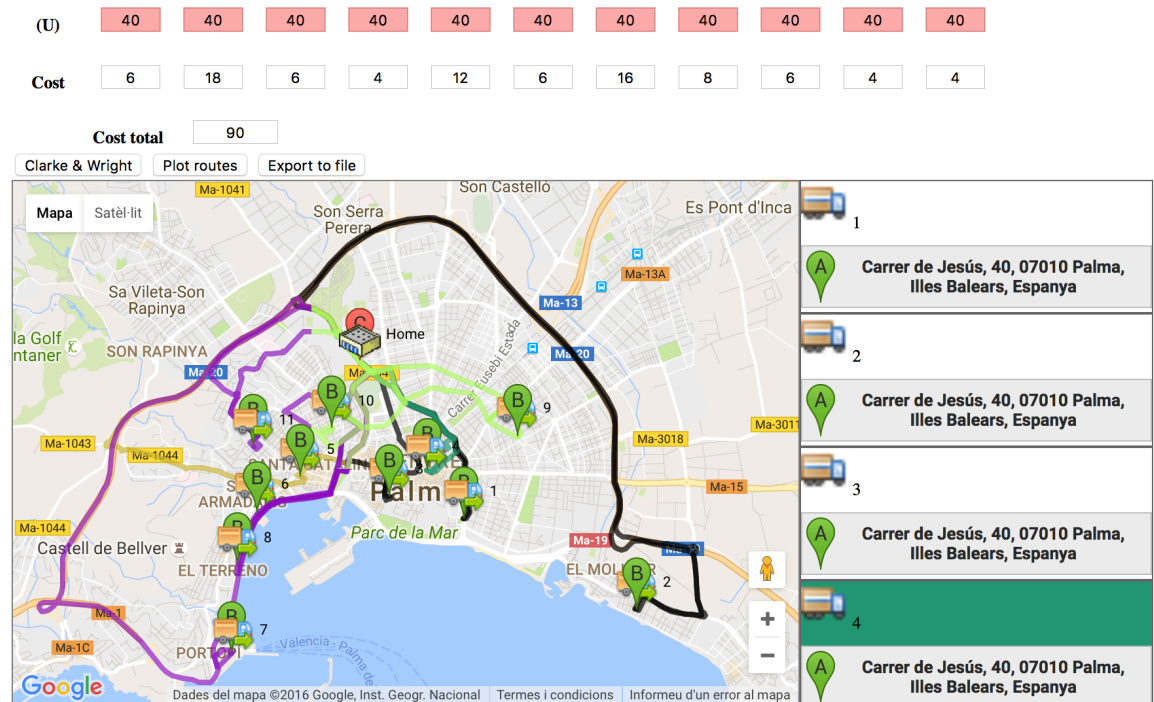


Fig. 9.8. Rutes pel transport de ferits a Palma de Mallorca. Font: Autor - CQUID (UPF)

Si s'estima un total de 440 ferits a transportar (durant les primeres 24 hores) partint dels nodes establerts, es necessitarien 11 camions realitzant dos viatges cadascun i recorrent un total combinat de 180 kilòmetres.

10. Resolució del problema logístic

Un cop es té un objectiu definit (la distribució d'ajuda humanitària en context d'emergència post-tsunami a Espanya), s'ha de trobar la manera de resoldre el problema. Amb l'objectiu logístic de repartir l'ajuda de la manera més eficient als ciutadans afectats, s'ha de comprendre els mètodes actuals que donen resposta a aquest objectiu.

En estudiar problemes de logística, històricament es representen aquest tipus de problemes de transport com a una xarxa de vèrtexs, és a dir, en un graf. D'aquesta manera es desenvolupen mètodes de resolució eficients en aquesta tipologia.

- Com a primera opció, es pot aplicar la programació lineal (cas específic de la programació matemàtica o optimització matemàtica), si es coneixen uns paràmetres, es vol determinar els valors d'unes variables i es poden determinar relacions entre aquests paràmetres i variables. Cal recordar que la programació lineal és un mètode matemàtic que determina la manera d'aconseguir el millor resultat en un model matemàtic que consta d'un seguit de restriccions i una funció a optimitzar.
- Una alternativa és utilitzar mètodes de resolució basats en característiques específiques dels grafs. Els models basats en una xarxa es caracteritzen per dos elements primordials: els vèrtexs o nodes i els arcs. Els primers són els punts d'origen, destí i entremitjos o de transbordament dels béns a transportar. En segon lloc, els arcs són les connexions entre nodes.

A priori sembla que tant els problemes industrials com els humanitaris poden fer servir models similars basats en fluxos en un graf i per tant els mateixos mètodes de resolució. No obstant, la diferència resideix en l'objectiu de cada cas.

En aquest sentit, la diferència primordial entre la cadena de subministrament industrial, amb un objectiu comercial, i la humanitària és que en el primer cas la prioritat és maximitzar els beneficis o minimitzar els costos, mentre en el segon cas la prioritat és respondre a les necessitats tant ràpidament i efectivament com sigui possible.

Així, en logística humanitària, l'aspecte econòmic no és l'únic i primordial a tenir en compte. Aquest fet es reflecteix en els models matemàtics i en els múltiples factors a valorar. Per exemple, segons el país a on es s'hagi d'efectuar la distribució, potser s'ha de considerar factors com la seguretat per tal d'evitar rutes per zones problemàtiques. De totes maneres, en la majoria de casos la diferència dels resultats entre ambdós enfocaments no difereix gaire i, per tant, treballar amb un model focalitzat en reduir costos pot traduir-se normalment en reduir la distància recorreguda o el temps de distribució.

Existeixen nombrosos articles sobre logística humanitària (Knott [29], Haghani i Oh [30], Barbarosoglu i Arda [31], etc.). No obstant això, encara queda molta recerca a fer en comparació a la cadena de subministrament comercial en el desenvolupament de models matemàtics específics o solucions algorítmiques per a la presa estratègica de decisions en la gestió de crisis humanitàries.

Molts models d'ajuda humanitària prenen un objectiu específic a optimitzar: el temps de l'operació, etc. No obstant això, en general donades les circumstàncies de les situacions de crisi humanitària, hi ha més d'un objectiu a tenir en compte. Per exemple, models amb un doble enfoc: minimitzar el temps de transport i maximitzar la població auxiliada (Viswanath and Peeta [28]). Altres estudis amb doble objectiu, per exemple, tenen en compte factors com el cost, el temps o la igualtat en la distribució.

Queda patent que l'ideal seria un model on es tinguessin en compte els factors esmentats anteriorment, però també tants d'altres com sigui possible, per exemple, l'estat de les carreteres, els tipus de vehicles disponibles, etc. En els 4 casos proposats es vol estudiar la manera més eficient per a distribuir ajuda humanitària en una situació d'emergència donada l'afectació de la costa espanyola per un tsunami. En concret es vol determinar les rutes pels vehicles de transport i els nodes involucrats per a assegurar un subministrament suficient a totes les àrees de la ciutat en estudi.

Un dels models que segueixen aquesta línia és el de Vitoriano i Montero [6]. Aquesta línia de resolució, l'optimització multi-criteri, està encara en vies de desenvolupament i no es considera suficientment madura per aplicar-la en els casos tractats. Al mateix temps, models alternatius i més simples es poden considerar adequats per als casos a estudiar al tractar-se de xarxes simples pel que fa als nodes i als criteris a incloure (per exemple, la seguretat dels arcs en el cas d'Espanya no és una preocupació primordial en la resolució del problema i es pot negligir en el càlcul).

Tornant al problema de cada cas, es tenen 10 nodes establerts per a cada població en funció de les seves característiques i per a maximitzar l'ajuda a les població més afectada. Al mateix temps hi ha 5 nodes orígens que proveeixen la zona dels béns bàsics requerits. Quina es la manera més adequada de connectar els nodes proveïdors amb els receptors? Quin model logístic s'adequa més als casos tractats en l'estudi? Existeix una alternativa viable per aquestes casos a l'optimització multi-criteri?

Si es té un nombre molt elevat de nodes destí i origen i per a tant graf molt complex, el model més adequat per a la seva resolució seria un VRP genèric. Al mateix temps, existeixen un seguit de variants dintre dels VRP, segons la capacitat dels vehicles, l'ordre de la prioritat, la finestra de temps per operar, el tipus de servei, etc.

Alguns casos pràctics de VRP a la vida real són, per exemple, les rutes dels vehicles de recollida d'escombraries, de la neteja dels carrers, les rutes dels busos escolar o les rutes comercials de repartició. Els VRP són problemes complicats de resoldre. Per exemple, sense cap restricció, si es té n punts de demanda amb un vehicle, les solucions possibles són $n!$. Així doncs, amb $n=5$, el nombre de solucions és 120 i per a $n = 10$, el nombre total de rutes possibles és 3.628.200. En el VRP més senzill, tots els vehicles tenen la mateixa capacitat i s'ha de repartir un sol tipus de bé. Altres restriccions típiques són el temps, horaris concrets, o distància màxima de cada ruta. No obstant això, si el graf és senzill com en el casos de l'estudi, al tractar una àrea concreta com les poblacions estipulades, llavors models VRP simplificats com els TSP s'adeqüen idealment a les necessitats dels casos.

Un problema TSP o *travelling salesman problem* (problema del venedor ambulant), es presenta com un VRP simplificat amb un sol punt origen i destí dels vehicles. Per tant, la diferència principal entre un problema TSP i un VRP és que en el primer el vehicle ha de tornar al punt de partida. Es pot veure al mateix temps que degut a les dimensions relativament reduïdes de les ciutats estudiades, es pot considerar que un centre logístic únic que faci de nexa entre els punts orígens i destí seria suficient per a servir al conjunt de l'operatiu al mateix temps que reduiria costos i complexitat logística.

Si tenim en compte tots aquests factors i les característiques dels nostres casos, volem resoldre un problema amb varis punts demandants, amb un tipus de vehicle i un sol bé, que torni sempre al mateix punt de partida inicial (centre logístic). Combinant aquesta descripció amb les definicions anteriors, es pot veure com cal resoldre un TSP per a cada un dels 4 casos.

Al mateix temps, es vol prioritzar un mètode de resolució que utilitzi serveis de cartografia en línia, que proporcionin rutes calculades amb la màxima precisió i no simples arcs rectes que connecten dos nodes. Models multi-factor complexos normalment obvien aquest aspecte degut a que són obsolets o es complicaria excessivament la resolució. En els casos a resoldre, sabent que una resolució com a TSP s'adapta perfectament tot i el seu caràcter simplificat, es pot buscar combinacions actuals de resolució de TSP amb serveis com Google Maps. Es considera que la precisió i potencial de combinar les dues pràctiques proporciona una resolució dels casos més precisa i adequada que les alternatives mencionades. La interfície utilitzada per a aplicar el mètode és un projecte de la Pompeu Fabra desenvolupat per Helena Ramalhinho Lourenço, Alex Grasas i el Guillem Gimenez en el Pla CQUID 2009-2011 de suport a la innovació i a la qualitat docent [19]. El seu treball permet aplicar de manera intuïtiva i fàcil el mètode de Clarke i Wright utilitzant una interfície visual i l'ús de Google Maps.

Important: En els casos estudiats, i degut que l'Estat espanyol ja compta amb una àmplia base de recursos per a satisfer logísticament catàstrofes com les estudiades i després de fer els càlculs necessaris i veure que hi ha disponibles més camions dels estrictament necessaris, no seria estrictament necessari utilitzar models que resolguin problemes de transport com l'utilitzat. Per tant, al aplicar aquest mètode en els casos concrets del projecte, no resulta cap estalvi directe. No obstant això, s'ha escollit com a exemple del mètode més adequat per a resoldre casos similars on sí hi ha límit de vehicles i recursos (la situació més freqüent), o fins i tot si la catàstrofe dels casos estudiats fossin extraordinàries i depassessin les previsions més negatives. Consegüentment, si es reproduís la metodologia de treball en un cas on hi ha un límit de vehicles que obliga a establir una seqüència concreta de repartiment, el mètode utilitzat seria el més vàlid per a resoldre'l.

Al final, en els casos estudiats, el mètode utilitzat permet calcular les distàncies i rutes de distribució, però l'estalvi final és zero al poder atribuir un vehicle per a cada viatge necessari gràcies als nombrosos efectius de la UME. Quelcom podria argumentar que no seria necessari desplaçar tants vehicles i efectius, però com es demostra en l'apartat 12, el cost del desplaçament es negligible comparat amb el dels béns. Per tant, seria absurd disposar de vehicles i efectius per a casos d'emergència i no utilitzar-los en cas necessari. D'aquesta manera, en els casos del projecte, tots els operatius queden ben coberts en termes logístics.

11. Impacte ambiental

Tot projecte ha de considerar el medi ambient i els elements a tenir en compte per a minimitzar qualsevol impacte negatiu sobre aquest. De totes maneres, el medi ambient encara no es té en compte de manera sistemàtica en les accions humanitàries arreu del planeta. De fet, és un dels focus recents en els quals es comença a posar èmfasi després d'un historial d'impacte ambiental negatiu on operacions de suport humanitari han resultat nocives per l'ecosistema local.

Exemples d'això són per exemple la destrucció massiva de la massa forestal al Darfur per a la construcció de vivendes, la sobreexplotació de pous d'aigua a l'Afganistan o la mala gestió dels residus a Haití provocant la major crisi de còlera dels últims anys.

Aquests casos, com tants d'altres, il·lustren com organitzacions humanitàries, al obviar els aspectes mediambientals en la seva actuació, actuen de manera contraproductiu i en contra del seu objectiu inicial: salvar vides i restaurar l'habitabilitat de la comunitat local.

Els aspectes mediambientals principals a considerar a l'hora de dur a terme l'operatiu d'ajuda per als casos estudiats són:

- **Salut:** Assegurar la gestió adequada de residus sanitaris, runes o cadàvers.
- **Aigua i higiene:** Evitar la sobreexplotació de pous d'aigua i assegurar un bon tractament de les aigües residuals o contaminades.
- **Refugi:** Controlar una gestió adequada dels recursos utilitzats per a la reconstrucció.
- **Logística:** Evitar el tractament inadequat de fuel, olis o pneumàtics usats. Promoure pràctiques de conducció ecològica en els equips i utilitzar maquinària renovada menys contaminant (depenent dels equips de la UME).

Per a minimitzar l'impacte dels campaments provisionals o dels equips desplaçats per a l'emergència, seria idoni traslladar també a la zona afectada les unitats de tractament d'aigües contaminades SETA de les quals disposa la UME. L'estació de tractament de material sensible Kartcher també s'hauria d'incloure en el dispositiu per a tractar casos de substàncies perilloses a nivell humà i mediambiental, especialment amb punts vulnerables com ports, que tracten freqüentment amb substàncies perilloses.



Fig. 11.1. Estació de tractament Kartcher.

Font: UME

Les emissions en funció de la distància recorreguda depenen d'un seguit de factors com les emissions exactes de cada vehicle o el recorregut realitzat. En la taula següent, de l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic (OCCC), s'estima la contaminació de camions de manera generalitzada en funció dels kilòmetres recorreguts [25].

Vehicle	Emissions urbanes [gCO ₂ /km]	Emissions interurbanes [gCO ₂ /km]
Camió dièsel <= 14t	539,70	490,73
Camió dièsel > 14t	1103,49	663,01

Taula 11.1. Emissions de CO₂ en funció del recorregut. Font: OCCC

Així, es pot estimar les emissions totals de CO₂ per a realitzar el transport de l'ajuda, sabent que els camions pesants seran utilitzats principalment per al transport interurbà i els lleugers per a l'urbà:

- Cas 1: 12.684 kilòmetres recorreguts a 539,70 g CO₂/km. 3.088 kilòmetres recorreguts a 663,01 g CO₂/km. Emissions totals: 8.892,97 kg de CO₂. Les emissions equivalents a cremar 3,11 tones de carbó per a produir energia.
- Cas 2: 13.798 kilòmetres recorreguts a 539,70 g CO₂/km. 4.012 kilòmetres recorreguts a 663,01 g CO₂/km. Emissions totals: 10.106,75 kg de CO₂. Les emissions equivalents a cremar 3,54 tones de carbó per a produir energia.
- Cas 3: 18.732 kilòmetres recorreguts a 539,70 g CO₂/km. 3088 kilòmetres recorreguts a 663,01 g CO₂/km. Emissions totals: 12.157,035 kg de CO₂. Les emissions equivalents a cremar 4,25 tones de carbó per a produir energia.
- Cas 4: 2.784 kilòmetres recorreguts a 539,70 g CO₂/km. 731 kilòmetres recorreguts a 663,01 g CO₂/km. Emissions totals: 1.967,76 kg de CO₂. Les emissions equivalents a cremar 689 kilograms de carbó per a produir energia.

12. Pressupost

L'elaboració del treball, en cas de ser presentat com a informe per a les autoritats a l'hora d'establir nous protocols i plans estratègics per a la gestió de casos com els estudiats, comporta un treball que hauria de ser remunerat.

Si es considerés que l'autor es dedica a temps complet per realitzar-lo, es podria estimar un temps total d'elaboració d'uns dos mesos (segons la càrrega de feina que ha suposat). Estimant un salari mitjà per a un enginyer industrial de 2.500 euros al mes, es pot concloure que el cost del treball serien 5.000 euros.

De totes maneres, a l'hora de materialitzar qualsevol projecte, també és important conèixer el cost d'implementar-lo i la seva viabilitat econòmica. En el cas de l'ajuda humanitària, degut al caràcter imprevisible de les catàstrofes naturals, el cost total resta una estimació que pot fluctuar depenent de les condicions reals de l'emergència. No obstant això, és necessari elaborar aquesta estimació econòmica a l'hora de crear plans estratègics o protocols.

Per començar l'anàlisi econòmic dels casos plantejats cal recopilar els elements requerits i el cost de mobilitzar-los per a l'actuació considerada.

Particularment, com que l'actuació basa el suport logístic en les unitats corresponents de la UME, el cost de les quals el cobreix l'Estat espanyol i és permanent ja que les unitats són actives indiferentment de si es produeix o no una catàstrofe que les requereixi.

De totes maneres, a nivell de l'estudi, és interessant estimar el cost del suport logístic concret a la resposta en cada cas dels plantejats.

Segons *l'Observatorio de Costes del Transporte de Mercancías por Carretera* [22], del *Ministerio de Fomento*, el cost del transport de mercaderies es divideix en dues categories principals, el cost per temps i el cost quilomètric. El primer, cost per temps, depèn de l'amortització del vehicle, del finançament d'aquest, del personal de conducció, les assegurances, els costos fiscals i de les dietes. En segon lloc, el cost quilomètric, es determina en funció del combustible, els neumàtics, el manteniment i les reparacions.



Com s'ha esmentat, i degut a les característiques intrínseques de la UME en tant que organisme Estatal permanent, els elements que determinen el cost per temps són independents a la gestió d'aquesta catàstrofe en particular i es consideren com a negligibles en aquest càlcul particular.

Fig. 12.1. Els camions lleugers (superior) i pesants de la UME.
Font: UME

Per contra, el cost directe quilomètric sí que és lògic calcular-lo a l'hora d'estudiar l'impacte econòmic que suposa desenvolupar cada un dels casos de suport humanitari estudiats.

D'aquesta manera, l'objectiu primordial per a estimar el cost directe de la distribució és calcular el cost quilomètric per als vehicles que intervindrien en la resposta al tsunami.

Per al cas dels camions pesants TT 10 Tm IVECO M-250, aquests entren en la categoria de vehicles de 3 eixos de carrega general en l'estudi del *Ministerio de Fomento* (segona hipòtesi). Per tals vehicles, el cost anual d'explotació es divideix en un 66,6 % de costos per temps i un 33,4 % de cost quilomètric. Es considera que fins i tot en el desplaçament fins a arribar a la ciutat afectada, els vehicles anirien carregats d'ajuda o personal.

El cost unitari quilomètric directe actualitzat per l'any 2016 és el següent:

Cost unitari	€/ km
Cost carregat	0,366

Taula 12.1. Cost quilomètric. Font: Ministerio de Fomento

Els camions lleugers TT 4 Tm IVECO 7226 es categoritzen com a vehicles generals de dos eixos. El cost anual d'explotació es divideix en un 69,4 % de costos per temps i un 30,6 % de cost quilomètric.

El cost unitari quilomètric directe actualitzat per l'any 2016 és el següent:

Cost unitari	€/ km
Cost carregat	0,3045

Taula 12.2. Cost quilomètric. Font: Ministerio de Fomento

A partir d'aquí, queda multiplicar els kilòmetres totals estimats per a cada vehicle en els casos d'estudi (i segons transporti càrrega o no) per trobar el cost total de la distribució de l'ajuda. Els quilòmetres que separen el batalló de la UME fins a la zona afectada en cada cas són:

- Cas 1: Morón de la Frontera (BIEM II) – Cadis: 135 quilòmetres (A-382).
Total anada i tornada: 270 quilòmetres
- Cas 2: Morón de la Frontera (BIEM II) – Màlaga: 160 quilòmetres (A-92).
Total anada i tornada: 320 quilòmetres
- Cas 3: Bétera (BIEM III) – Cartagena : 300 quilòmetres (A-7).
Total anada i tornada: 600 quilòmetres

- Cas 4: Bétera (BIEM III) – Palma de Mallorca (a través del port de Valencia) : 40 quilòmetres (CV-35). Total anada i tornada: 80 quilòmetres. Es considera que la manera més efectiva de realitzar el transport dels camions fins a Palma seria per medis marítims, probablement emprant embarcacions de la *Armada Española* des del port de València.

Així el cost del transport per a cada cas és de:

Cas 1		Distància combinada (km)	Cost (€)
Lleugers (41)	Desplaçament	11.070	3.371
	Distribució ajuda	264	80
	Transport ferits	1.350	411
Pesants (10)	Desplaçament	2.700	988
	Transport ajuda	388	142
	-	-	-
Total		15.772	4.992

Cas 2		Distància combinada (km)	Cost (€)
Lleugers (41)	Desplaçament	13.120	3.995
	Distribució ajuda	276	84
	Transport ferits	402	122
Pesants (10)	Desplaçament	3.200	1171
	Transport ajuda	812	297
	-	-	-
Total		17.810	5.669

Cas 3		Distància combinada (km)	Cost (€)
Lleugers (31)	Desplaçament	18.600	5.664
	Distribució ajuda	68	21
	Transport ferits	64	20
Pesants (5)	Desplaçament	3.000	1.098
	Transport ajuda	227	83
	-	-	-
Total		22.120	6.886

Cas 4		Distància combinada (km)	Cost (€)
Lleugers (31)	Desplaçament	2.480	755
	Distribució ajuda	124	38
	Transport ferits	180	55
Pesants (8)	Desplaçament	640	234
	Transport ajuda	91	33
	-	-	-
Total		3.515	1.115*

Taula_12.3._ Taula de costos de l'operatiu logístic per a cada cas. Font: Autor

*Nota: No inclou el cost del transport marítim.

A l'hora d'estimar el cost total de l'operació, també és absolutament necessari calcular el cost aproximat dels béns a repartir. Una de les agències de referència en ajuda humanitària, la nord-americana US AID, estima el cost mitjà per tona en \$1188 per tona (1000kg) [23]. No obstant això, i comptant que l'Estat espanyol seria capaç de proveir la majoria de l'ajuda necessària, és més precís estimar el cost per tona partint de les últimes operacions en les que ha participat el país. Més concretament, a partir dels lots d'ajuda enviada a la població civil de Síria els últims anys, es pot estimar un cost mitjà de 3.500 euros per tona [24]. Cada tona inclou béns materials de necessitat bàsica com kits per cuinar, mantes, menjar o tendes. Utilitzant les tones d'ajuda estimada esmentades anteriorment, en funció de la població a ajudar i a l'afectació potencial del tsunami, es pot trobar el cost dels béns per a cada cas:

- Cas 1: 100 tones d'ajuda a 3.500 euros/tona. Cost: 350.000 euros
- Cas 2: 100 tones d'ajuda a 3.500 euros/tona. Cost: 350.000 euros
- Cas 3: 50 tones d'ajuda a 3.500 euros/tona. Cost: 175.000 euros
- Cas 4: 75 tones d'ajuda a 3.500 euros/tona. Cost: 262.500 euros

Taula del cost total de la operació per cada cas en euros:

	Cas 1	Cas 2	Cas 3	Cas 4
Béns	350.000	350.000	175.000	262.500
Transport	4.992	5.669	6.886	1.115*
Total	354.992	355.669	181.886	263.615

Taula 12.4. Taula del cost total de l'operatiu per a cada cas. Font: Autor

Poden semblar xifres elevades però a nivell estatal serien fàcilment assumibles fins i tot sense tenir en compte l'ajuda externa que molt probablement arribaria d'arreu del món. Cal tenir en compte que aquests valors corresponen a la mínima resposta logística necessària. Si es decidís desplaçar més efectius de la UME, el cost de l'operació seria superior.

Al mateix temps, el cost final de la catàstrofe seria molt més elevat. Aquí tant sols s'inclou una estimació econòmica per a la distribució de l'ajuda i la gestió de ferits. Altres tasques de gestió de l'emergència, així com la reconstrucció de la zona afectada, tindrien de ben segur conseqüències econòmiques severes per a la regió i un elevat cost per a l'Estat.

13. Conclusions

El treball finalitzat constitueix una eina de gran utilitat en l'eventual cas de produir-se una emergència a Espanya causada per un tsunami.

El resultat final segueix un ordre lògic en l'estudi de la resposta humanitària. Començant per un recopilatori històric dels casos més rellevants de terratrèmols i tsunamis amb afectació al territori espanyol, es proporciona al lector un bon calibratge de la magnitud i probabilitat de patir una situació similar en el futur.

A continuació, es segueix per analitzar els protocols i plans existents que haurien de donar suport a la població en aquesta situació. Això permet comprendre com funciona el sistema d'emergències espanyol, les institucions involucrades, l'abast de la resposta i la preparació concreta a dia d'avui si una megaonada arriba a la costa espanyola.

Posteriorment, en el transcurs del treball, es pot trobar una introducció a la logística humanitària i una justificació de perquè es decideix solucionar els casos mencionats de la manera seleccionada.

Finalment, i no per això menys important, es poden trobar els 4 casos d'estudi.

Aquests proporcionen l'anàlisi detallat dels 4 punts més vulnerables als tsunamis dintre de l'Estat espanyol, estant aquests a la costa sud-est de l'Estat. Es determinen de manera raonada les zones a estudiar i es comença per fer una mirada al registre de tsunamis passats amb afectació a la zona. Un cop es tenen clars els antecedents, es procedeix igualment per determinar en detall les característiques de cada cas: magnitud de l'onada, punts potencialment més afectats, manera de procedir en la resposta, etc.

Finalment, es defineix una matriu de nodes conformes a la metodologia explicada en l'obra determinant l'encaminament i nombre d'efectius per a la distribució dels ajuts humanitaris.

D'aquesta manera l'enfoc que es proporciona al final és complet i informa al lector del conjunt d'aspectes claus a conèixer en l'eventualitat d'experimentar casos similars als definits, també des d'un punt de vista mediambiental, de gestió de ferits i econòmic.

Al mateix temps cal esmentar que el tema tractat en el treball és de molta complexitat i òbviament requereix molt més recerca que l'existent. Així, es pot veure el projecte com un punt de partida per a les institucions a l'hora de preparar protocols reals i precisos en la gestió de la resposta a tsunamis, amb mètodes científics per al control de la logística d'una operació com l'estudiada. És per tant una eina efectiva de recopilació i síntesi de la recerca existent combinada amb tècniques a l'avantguarda de la gestió d'emergències.

A partir d'aquí, òbviament, queda treball a fer en el sentit d'aprofundir encara més en aquest àmbit, reproduint la metodologia de treball en altres àrees també susceptibles d'aquest fenomen.

Per seguir la preparació de les institucions en cas de tsunami, també s'hauria de preveure el personal requerit en l'àmbit sanitari, de seguretat i logístic. També es podrien estudiar els casos amb altres tècniques per a planejar la distribució de l'ajuda, com per exemple, la programació per objectius.

De totes maneres, això quedaria per a un altre projecte.

Agraïments

L'autor del projecte voldria agrair els consells i el suport rebut per part del tutor del treball, el senyor Manel Mateo Doll. La seva experiència i opinió han permès que es definís en la direcció correcta un obra completa que més enllà d'haver sigut molt didàctica per a l'autor pot esdevenir una eina útil en cas de produir-se una emergència com l'estudiada.



Bibliografia

Referències bibliogràfiques

- [1] Instituto Español de Estudios Estratégicos. Ministerio de Defensa Cuadernos de Estrategia. *España ante las emergencias y catástrofes. Las Fuerzas Armadas en colaboración con las autoridades civiles*. Gener 2014, no. 165. ISBN: 978-84-9781-890-2
- [2] Ministerio del Interior. Subsecretaría Dirección General de Protección Civil y Emergencias. *Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Maremotos*. Novembre 2015.
- [3] Álvarez Gómez, José Antonio. Semana de la Ciencia 2011. *Tsunamis en España*, celebrada el 17 de Noviembre del 2011 a la Universidad Complutense de Madrid.
- [4] Hammitzsch, M., Spazier, J., Babeyko, A. Y., Reißland, S. (2014): *Implementation and integration of GPU-accelerated easyWave for instant tsunami propagation calculations in the TRIDEC tsunami early warning system demonstrator*. - Talk presented at the TsuMaMoS 2014 – Mathematical Modelling for Tsunami Early Warning Systems (Malaga, Spain 2014)
- [5] Alvarez-Gomez, J.A., Aniel-Quiroga, I., Gonzalez, M., Otero, L. *Tsunami hazard at the Western Mediterranean Spanish coast from seismic sources*. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 11, 227-240, 2011. DOI: 10.5194 / nhess-11-227-2011
- [6] Montero, J., Ortuño, M.T., Tirado, G., Vitoriano, B. *A multi-criteria optimization model for humanitarian aid distribution*. Journal of Global Optimization. October 2011. DOI: 10.1007/s10898-010-9603-z
- [7] Ilustre Colegio Oficial de Geólogos. Geoforo. Madrid, novembre 2014
- [8] Ministerio del Interior. Subsecretaría Dirección General de Protección Civil y Emergencias. *Plan estatal de protección civil ante el riesgo sísmico*. Març 2010.
- [9] Ministerio de Fomento. Instituto Geográfico Nacional. *Información sísmica*
- [10] El Diario. *El Insituto Geográfico Nacional no registró un tsunami que afectó a la costa espanyola este mes*. Febrer 2015. http://www.eldiario.es/canariasahora/sociedad/espanola-registrado-Instituto-Geografico-Nacional_0_360114421.html
- [11] Centro Nacional de Estadística. *Censo de Población y Viviendas 2011*. Diciembre 2013. IOE: 30243
- [12] Ministerio del Interior. *Ley 2/1985, de 21 de enero, sobre protección civil*. (BOE [en línea], núm. 22, 25-01-1985. REF: BOE-A-1985-1696).
- [13] Ministerio del Interior. *Real Decreto 407/1992, de 24 de abril, por el que se aprueba la Norma Básica de Protección Civil*. (BOE, núm. 105, 01-05-1992. REF: BOE-A-1992-9364).
- [14] Ministerio del Interior. *Real Decreto 416/2006, de 11 de abril, por el que se establece la organización y el despliegue de la Fuerza del Ejército de Tierra, de la Armada y del Ejército del*



Aire, así como de la Unidad Militar de Emergencias. (BOE, núm. 96, 22-04-2006. REF: BOE-A-2006-7168).

[15] International Atomic Energy Agency. *The International Nuclear and Radiological Event Scale INES*. DPI: 08-26941

[16] Ministerio del Interior. *Ley 6/1997, de 14 de abril, de Organización y Funcionamiento de la Administración General del Estado*. (BOE, núm. 90, 15-04-1997. REF: BOE-A-1997-7878).

[17] Instituto Español de Reducción de Desastres. *El riesgo de tsunami en Cádiz aún persiste*. Diciembre 2014. <http://www.ierd.es/?p=631>

[18] Diario Sur. *¿Qué habría tenido que haber pasado para que se declare la alerta de tsunami en Málaga?*. 25 de gener del 2016. <http://www.diariosur.es/malaga/201601/21/factores-alerta-tsunami-20160121172356.html>

[19] Ramalhinho Lourenço, H., Grasas, A., Gimenez Ruiz, G. *Pla CQUID 2009-2011 de suport a la innovació i a la qualitat docent*. 2013. <http://vrp.upf.edu>

[20] Dantzig, G., Ramser, J H. *The Truck Dispatching Problem*. Managment Science. Octubre 1959. DOI:10.1287/mnsc.6.1.80

[21] Lysgaard, J. Department of Management Science and Logistics. The Aarhus School of Business. *Clarke & Wright's Savings Algorithm*. Septiembre 1997.

[22] Ministerio de Fomento. *Observatorio de Costes del Transporte de Mercancías por Carretera*. Gener 2016.

[23] United Stated Agency. US AID. *Food Aid Reform: Behind the Numbers*. Gener 2014.

[24] Las Provincias. *15 toneladas de ayuda humanitaria viajan de Comunitat a Siria*. Abril 2012.

[25] Generalitat de Catalunya. Oficina Catalana del Canvi Climàtic. *Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)*. Març 2011.

[26] United Nations. UNEP, OCHA. *Environment and Humanitarian Action: Increasing Effectiveness, Sustainability and Accountability*. Gener 2014.

[27] United Nations. UNEP, OCHA. *Humanitarian Action and the Environment*. Gener 2014.

[28] Viswanath, K., Peeta, S. *Multicommodity maximal covering network design problem for planning critical routes for earthquake response*. J. Transp. Res. Board 1857, 1–10 (2007)

[29] Knott, R. *The logistics of bulk relief supplies*. Disasters 11, 113–115 (1987)

[30] Haghani, A., Oh, S.C. *Formulation and solution of a multi-commodity, multi-modal network flow model for disaster relief operations*. Transp. Res. A Policy Pract. 30(3), 231–250 (1996)

[31] Barbarosoglu, G., Arda, Y. *A two-stage stochastic programming framework for transportation planning in disaster response*. J. Oper. Res. Soc. 55(1), 43–53 (2004)

[32] Doocy S, Daniels A, Dick A, Kirsch TD. *The Human Impact of Tsunamis: a Historical*



Review of Events 1900-2009 and Systematic Literature Review. PLOS Currents Disasters. 2013 Abril 2016. Edició 1. DOI: 10.1371/currents.dis.40f3c5cf61110a0fef2f9a25908cd795.

[33] Reus Digital. *José M García Casanovas, expert en nuclears: 'Ascó i Vandellòs superaran les proves de resistència'*. Març 2011. <http://reusdigital.cat/noticies/jos-m-garc-casanovas-expert-en-nuclears-asc-i-vandell-s-superaran-les-proves-de-resistencia>

[34] Instituto Geológico y Minero de España. *Estudio y cartografía de los peligros naturales costeros de la región de Murcia*. Abril 2011.

[35] Onda Cero. *Expertos alertan que Baleares podría sufrir un tsunami peor que el de Indonesia y no cuenta con un Sistema de Alerta*. 08 de maig del 2015.

http://www.ondacero.es/emisoras/baleares/mallorca/expertos-alertan-que-baleares-podria-sufrir-tsunami-peor-que-indonesia-cuenta-sistema-alerta_2011112554286030cf2c2fca209c3d2.html

Bibliografia complementària

Birkmann, J., Teichman, K.V., Welle, T., González, M., Olabarrieta, M. *The unperceived risk to Europe's coasts: tsunamis and the vulnerability of Cadiz, Spain*. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 10, 2659-2675, 2010. DOI:10.5194/nhess-10-2659-2010

Lima, V. V., Miranda, J. M., Baptista, M. A., Catalao, J., Gonzalez, M., Otero, L., Olabarrieta, M., Alvarez-Gomez, J.A., Carreño, E. *Impact of a 1755-like tsunami in Huelva, Spain*. Natural Hazards and Earth System Sciences, 2010. 10, 139–148.

Alvarez-Gomez, J.A., Olabarrieta, M., Gonzalez, M., Otero, L., Carreño, E., Martinez-Solanes, J. *The Impact of Tsunamis on the Island of Majorca induced by North Algerian Seismic Sources*. Turkish Journal of Earth Sciences, 05/2010.19, 367–383. DOI: 10.3906/yer-0812-7

Junta de Andalucía Consejería de Gobernación. Dirección General de Política Interior. *Plan de Emergencia ante el Riesgo Sísmico en Andalucía*

B. Vitoriano et al. (eds.). *Decision Aid Models for Disaster Management and Emergencies*. Atlantis Computational Intelligence Systems 7, Atlantis Press 2013. DOI: 10.2991/978-94-91216-74-9

